

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Obor: 3106T 002 Chemická technologie textilní

Zaměření: Chemická technologie textilní

KATEDRA TEXTILNÍ CHEMIE

Fotochemická metoda vytváření nanočástic stříbra v textilních vláknech

Photochemical method of preparation silver nanoparticles in textile fibres

Kristina Hübnerová, Bc.

KTC – 580

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Konzultant: Doc. Ing. Jaroslav Odvárka, DrSc.

Rozsah práce:

Počet stránek textu: 72

Počet obrázků: 28

Počet tabulek: 22

Počet příloh: -

Zadání

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá vytvářením nanočástic stříbra v textilních vláknech pomocí fotochemické metody. Je rozdělena na teoretickou a experimentální část. V teoretické části jsou popsány současné poznatky o nanočásticích stříbra a o fotochemické metodě jejich vytváření.

V rámci experimentální části práce byly pomocí fotografického postupu vytvářeny nanočástice stříbra přímo v bavlněných vláknech a v celofánové fólii. Postup s použitím bavlněných vláken byl optimalizován a tímto způsobem připravené standardní vzorky byly testovány na barevnost, stálost v otěru a v praní, baktericidnost a elektrickou vodivost. Dále byla u standardních vzorků provedena analýza množství stříbra ve vláknech a vzorky byly snímkovány rastrovacím elektronovým mikroskopem (REM).

Klíčová slova: stříbro, nanočástice, fotochemie, vlákna

Annotation:

This diploma work studies the preparation of silver nanoparticles in the textile fibres by using the photochemical method. It is divided into the theoretical and the experimental part. In the theoretical part there are described new knowledge of the silver nanoparticles and the knowledge of the preparation silver nanoparticles by using photochemical method.

In the experimental part the silver nanoparticles were prepared directly in the cotton fibres and in the cellophane. There was used the photographic method. The method of preparation silver nanoparticles in the cotton fibres was optimized and the standard samples were prepared. The colour differences, the dry and wet rubbing fastness, colour fastness to laundering, the germicidal action and electric conductivity of standard samples were evaluated. The standard samples were analyzed for silver quantity and photographed by REM.

Key words: silver, nanoparticles, photochemistry, fibres

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 8. 1. 2007

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat především vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky k práci a za odborné vedení při její tvorbě. Dále děkuji Doc. Ing. Jaroslavu Odvárkovi, DrSc. za praktické rady k tématu, MUDr. Janu Horskému a Ing. Štěpánce Krutské za pomoc při testování baktericidních účinků a Ing. Janě Grabmüllerové za pomoc při snímkování vláken.

Dále bych ráda poděkovala své rodině, kolegyním a přátelům, kteří mi byli po celou dobu mého studia důležitou oporou.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

č.	číslo
Tab.	tabulka
Obr.	obrázek
např.	například
UV	ultrafialové záření
VIS	viditelné spektrum
tj.	to je
tzv.	tak zvaný
λ	vlnová délka [nm]
ν	kmotočet [s^{-1}]
apod.	a podobně
E	zářivá energie [J]
n	látkové množství [mol]
h	Planckova konstanta [$6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s]
Na	Avogadrova konstanta [$6,022 \cdot 10^{23}$ mol $^{-1}$]
atd.	a tak dále
REM	Rastrovací environmentální elektronový mikroskop
AES	Atomová emisní spektrometrie

Obsah

1. ÚVOD	10
2. TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1 Stříbro	11
2.1.1 Základní chemické a fyzikální vlastnosti stříbra	11
2.1.2 Nanočástice stříbra	12
2.1.3 Antibakteriální účinek nanočástic stříbra	13
2.1.3.1 Bakterie	14
2.1.3.2 Testování antibakteriálního efektu nánosu koloidního stříbra	15
2.1.4 Metody analytického stanovení množství stříbra	15
2.2 Fotochemie stříbra	16
2.2.1 Fotochemické reakce	16
2.2.2 Záření	17
2.2.2.1 Účinky záření	17
2.2.2.2 Absorpce záření	18
2.2.3 Světlocitlivé látky	18
2.2.3.1 Halogenidy stříbra	18
2.2.3.1.1 Spektrální citlivost halogenidů stříbra	19
2.2.3.1.2 Účinky světelného záření na halogenidy stříbra	19
2.2.3.1.3 Fotovodivost halogenidů stříbra	21
2.3 Černobílá fotografie	21
2.3.1 Princip	21
2.3.1.1 Latentní obraz	21
2.3.1.1.1 Teorie latentního obrazu	22
2.3.2 Příprava fotografické emulze	23
2.3.2.1 Srážení	23
2.3.2.2 Nanesení světlocitlivé vrstvy na podložku („polévání“)	24
2.3.3 Složky fotografického materiálu	24
2.3.3.1 Želatina	24
2.3.3.2 Senzibilátory	25
2.3.3.3 Stabilizátory	26
2.3.3.4 Antihalační látky	26
2.3.3.5 Antistatika	27
2.3.3.6 Utrvzovače	27
2.3.3.7 Konzervační látky	28
2.3.3.8. Smáčedla	28
2.3.3.9 Podkladový materiál	28
2.3.4 Vyvolávání	28
2.3.4.1 Vývojky	29
2.3.4.2 Vyvolávače	29
2.3.4.3 Druhy vývojek	30
2.3.5 Ustalování	30
2.3.5.1 Ustalovače	30
2.3.5.2 Chemismus ustalování	31
2.3.5.3 Další složky ustalovačů	31

2.4 Barevná fotografie	32
2.4.1 Barevné fotografické materiály	32
2.4.2 Barvotvorné vyvolávání	32
2.4.2.1 Vyvolávací látky	33
2.4.2.2 Barvotvorné složky	33
2.4.3 Bělící postupy	34
2.5 Bavlna	34
2.5.1 Složení	34
2.5.2 Sorpční vlastnosti a bobtnavost	36
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	37
3.1 Cíl práce	37
3.2 Použitý materiál	37
3.3 Použité chemikálie	37
3.4 Použité přístroje a měřicí zařízení	38
3.5 Použité bakterie	39
3.6 Princip experimentů	39
3.6.1 Srážení činidla 4 s činidly 1 a 2 ve vláknech	39
3.6.1.1 Srážení činidla 4 s činidlem 1 (činidlem 2)	40
3.6.1.2 Srážení činidla 4 s činidlem 1 (činidlem 2) po 24 hodinách odležení	40
3.6.1.3 Expozice lampou	41
3.6.1.4 Hodnocení barevného přechodu vzorků podle šedé stupnice	41
3.6.1.5 Hodnocení barevnosti vzorků	45
3.6.2 Zvýšení množství stříbra ve vláknech	48
3.6.2.1 Pokusy s komerčními chemickými vývojkami	49
3.6.2.2. Pokus s vývojkou pro fyzikální vyvolávání	50
3.6.2.3 Hodnocení barevnosti	51
3.6.3 Odstranění neexponovaného činidla 3	51
3.6.4 Orientační pokus s celofánem	52
4. VÝSLEDKY A DISKUSE	54
4.1 Příprava standardních vzorků	54
4.1.1 Srážení činidla 4 s činidlem 1 ve vláknech	54
4.1.2 Expozice lampou	54
4.1.3 Vyvolání	54
4.1.4 Ustálení	54
4.1.5 Vypírání a vyváření	54
4.2 Testování standardních vzorků	54
4.2.1 Připravené vzorky	54
4.2.2 Hodnocení barevnosti	55
4.2.3 Elektrická vodivost	56
4.2.4. Analytické zjištění množství stříbra ve vláknech metodou AES	57

4.2.5 Elektronová mikroskopie	59
4.2.6 Baktericidnost	63
4.2.7. Stálosti v otěru	66
4.2.8 Stálosti v praní	67
4.3 Vytvoření geometrického vzoru na textili	68
5. ZÁVĚR	70
6. LITERATURA	71

1. Úvod

Nanotechnologie stále častěji pronikají svými produkty do běžného života. Nejde v tomto případě jen o prostou úsporu materiálu a energie na výrobu příslušných produktů, ale hlavním důvodem jejich rozšiřujícího se uplatnění jsou unikátní vlastnosti hmoty rozptýlené do částecek o velikosti jednotek až desítek nanometrů. S jejich pomocí lze konstruovat nejen nové elektronické součástky či subminiaturní stroje, ale lze realizovat procesy, neuskutečnitelné jinými prostředky. Typickým příkladem nanotechnologií dneška je příprava a využití nanočástic stříbra.

Stříbro je již od starověku známé pro své dezinfekční a baktericidní účinky, staří Řekové používali stříbrné misky a talíře k bezpečnému uchovávání pokrmů. Od devatenáctého století bylo koloidní stříbro používáno v moderním lékařství např. jako součást očních kapek nebo bylo aplikováno lokálně i nitrožilně. Známe je také využití stříbra k dezinfekci zdrojů pitné vody. I dnes se nanočástice stříbra v medicíně hojně využívají, především jako součást obvazových materiálů při léčbě těžkých popálenin nebo proleženin a nebo k vnitřnímu užití jako potravinové doplňky podporující imunitu. Kromě lékařství našly nanočástice stříbra své uplatnění při finálních antimikrobiálních úpravách textilií, jež zákazníkovi zajišťují větší komfort nošení.

Tato diplomová práce se zabývá vytvářením nanočástic stříbra v textilních vláknech pomocí fotochemické metody. V teoretické části jsou shrnuty současné poznatky o nanočásticích stříbra a je zde teoreticky vysvětlen postup jejich přípravy fotografickou metodou. V experimentální části je pak tento postup realizován a optimalizován s cílem maximální koncentrace nanočástic stříbra ve vláknech. Takto připravené vzorky jsou testovány na baktericidnost, stálost v otěru a v praní, barevnost a elektrickou vodivost. V závěru jsou shrnuty výsledky a návrhy pro další práce.

2. Teoretická část

2.1 Stříbro

2.1.1 Základní chemické a fyzikální vlastnosti stříbra

Stříbro je ušlechtilý kov bílé barvy, používaný člověkem již od starověku. Vyznačuje se nejlepší elektrickou a tepelnou vodivostí ze všech známých kovů, je tažný a kujný. Slouží jako součást různých slitin pro použití v elektronickém průmyslu, při výrobě CD a DVD nosičů jako záznamové médium, ve šperkařství, z veškerého vyrobeného stříbra se jedna třetina využije ve fotografickém průmyslu. Vzhledem k současnému rozmachu digitální fotografie nyní spotřeba stříbra ve fotografickém průmyslu klesá. /1,2/

Tab. č. 1 – Základní chemické a fyzikální vlastnosti /3,4/

Stříbro	
Chemická značka	Ag
Latinský název	Argentum
Protonové číslo	47
Počet přírodních izotopů	2
Relativní atomová hmotnost	107,868 (± 3)
Skupenství	pevné
Teplota tání	961 °C (při tlaku 101,3 kPa)
Teplota varu	2155 °C (při tlaku 101,3 kPa)
Elektronegativita	1,9
Hustota	10,49 g/cm ³ (při 20°C)
Tvrdost	2,7 (Mohsova stupnice tvrdosti)



Obr. 2.1: Kovové elementární stříbro

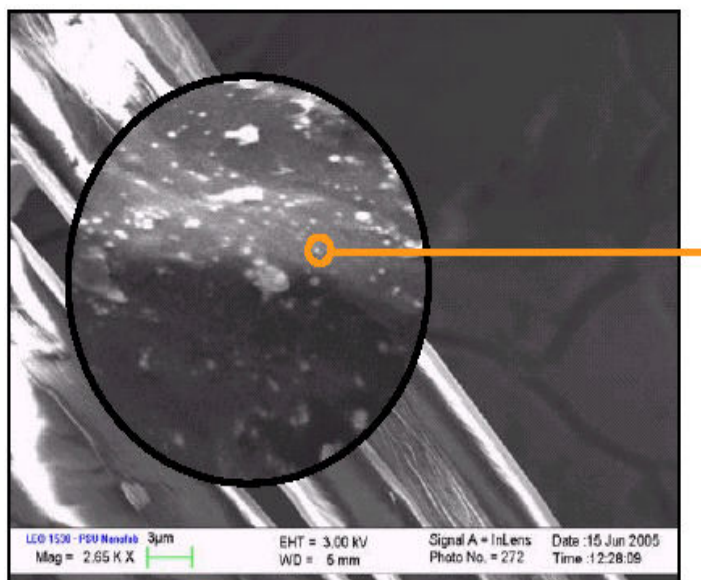
2.1.2 Nanočástice stříbra

Nanočástice vynikají díky svému vnějšímu i vnitřnímu uspořádání odlišným od makroskopického uspořádání hmoty unikátními vlastnostmi absorpčními, katalytickými, optickými i biologickými. /5/

Typickým příkladem nanotechnologií dneška je příprava a využití nanočástic stříbra. Stříbro bylo již odedávna aplikačně známé svými optickými vlastnostmi i biologickými účinky. Prakticky jedna z prvních nanotechnologií nového věku byla fotografie založená na fotocitlivosti halogenidů stříbra a z nich vznikajících nanočástic stříbra po expozici světlem. Nanočástice stříbra ukázaly své ohromné katalytické účinky i v další oblasti, kdy na počátku 70. let 20. století bylo objeveno zesílení v Ramanově spektroskopii dané přítomností nanočástic stříbra ve studované soustavě. Tento povrchem zesíleným Ramanův rozptyl přinesl citlivou spektroskopickou techniku, umožňující v současnosti studium jediné molekuly adsorbované na povrchu nanočástice stříbra. /5/

Nanočástice stříbra vynikají i zajímavými optickými vlastnostmi. Jejich soly jsou intenzivně zabarveny díky existenci jevu nazývaného „povrchový plasmon“. Zjednodušeně lze tento jev vysvětlit interakcí vodivostních elektronů kovů s dopadajícím elektromagnetickým zářením. Při dopadu světla pak dochází k silné adsorpci světelné energie ve chvíli, kdy je kmitočet záření v rezonanci s pohyby vodivostních elektronů. Výsledkem je pak intenzivně oranžově žluté zabarvení koloidů stříbra. /5/

Nanočástice stříbra se pro své baktericidní účinky používají při výrobě antibakteriálně upravených textilních vláken, např. použitím technologie SmartSilver./6/



Obr. 2.2: Nanočástice stříbra SmartSilver na textilním vlákne

2.1.3 Antibakteriální účinek nanočástic stříbra

Aktuálním tématem je v současnosti boj lidstva s bakteriemi a viry. Tyto nejjednodušší organismy jsou velmi přizpůsobivé a za přibližně 50 let používání antibiotik jsou již mnohé bakteriální kmeny vůči některým antibiotikům rezistentní./5/

Jednou z možností boje proti mikroorganismům je využití nanočástic stříbra. Nanočástice stříbra mají schopnost navázat se přímo na reaktivní skupiny v cílové buňce nebo organismu a zapříčiní jejich zánik nebo inaktivaci. Bakteriím i virům trvá delší čas vytvořit si rezistivitu vůči stříbru než vůči antibiotikům. /6/

Stříbro obecně působí především baktericidně a desinfekčně. Je jednoznačně prokázáno, že koloidní stříbro ničí houby a plísně, zabíjí parazity, pomáhá regeneraci buněk a přitom je prakticky minimálně toxické pro vyšší organismy. V malých dávkách posiluje imunitní systém a zlepšuje odolnost organismu proti bakteriálním a virovým onemocněním. Působí pozitivně při léčbě některých kožních chorob. /2/

Koloidní stříbro bylo k léčbě infekčních onemocnění používáno již okolo roku 1891, bylo podáváno ústně jako kloktadlo, lokálně, nitrožilně injekcí a používáno jako oční kapky. Dnes se stříbrné přípravky nejběžněji používají ve formě obvazů

uvolňujících stříbro při léčbě těžkých popálenin a traumatických zranění. Tyto obvazy působí antibakteriálně, fungicidně a musí být hypoalergenní. /7/

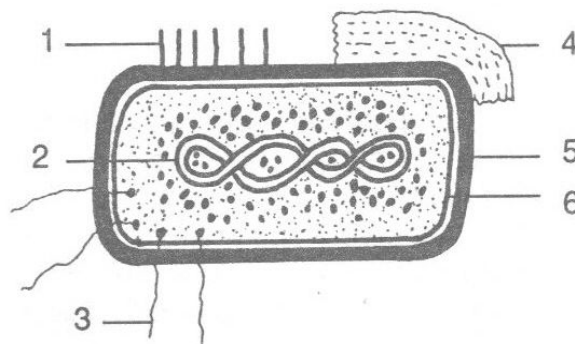
Baktericidních vlastností stříbra se využívá i při jednorázové dezinfekci menších zdrojů pitné vody. Stříbro je součástí vojenských pohotovostních souprav, které umožňují v terénu získat pitnou vodu i z velmi znečištěných zdrojů. /2/

Ve vyšších dávkách a koncentracích je však působení stříbra na organismus negativní. Při styku pokožky s roztoky Ag^+ dochází ke vzniku tmavých skvrn – vznikají komplexní sloučeniny stříbra a bílkovin v pokožce. Dlouhodobý vysoký přísun stříbra vede k jeho ukládání do různých tkání a především do kostí. Případná karcinogenita a míra toxických účinků solí stříbra je v současné době předmětem výzkumů. /2/

2.1.3.1 Bakterie

Bakterie patří mezi prokaryotní mikroorganismy, které jsou charakterizovány tím, že u nich není jaderný materiál v buňce oddělen od cytoplasmy jadernou membránou. Jsou to organismy jak heterotrofní - jako zdroj uhlíku přijímají organické látky, tak i autotrofní - dovedou syntetizovat organické látky z oxidu uhličitého. V prostředí jsou vzhledem ke svým rozmanitým nárokům na zdroj živin a energie značně rozšířeny. /8, 9/

Často se bakterie dělí na dvě skupiny na základě tzv. Gramova barvení. Díky rozdílné struktuře buněčné stěny jsou rozdílně barvitelné anilínovým barvivem – krystalovou violetí. Podle toho se bakterie dělí na grampozitivní (G^+) a gramnegativní (G^-). /10/



Obr. 2.3: Obecné schéma bakteriální buňky; 1-fimbrie, 2-chromozom, 3-bičík, 4-pouzdro, 5-buněčná stěna, 6-cytoplazmická membrána

Kromě nezastupitelného pozitivního významu bakterií žijících např. v půdě nebo ve střevech existují tzv. patogenní druhy. /9/ Patogenita je schopnost mikroorganismů způsobovat onemocnění. Patogenní jsou mikroorganismy, které lidského hostitele poškozují buď přímo, nebo produkcí toxických látek. Potenciálně patogenní jsou mikroorganismy, které ve svém normálním prostředí nepůsobí poškození buněk, pouze v případě zanesení na jiné místo nebo v případě snížení imunity hostitele mohou vyvolat infekci. /10/

Odolnost proti onemocněním, která bakterie způsobují se získává vakcinací. Nemoci se léčí sulfonamidy a antibiotiky. /9/

2.1.3.2 Testování antibakteriálního efektu nánosu koloidního stříbra

Aplikace nánosu roztoku koloidního stříbra má velice dobrý antibakteriální efekt proti grampozitivním (G^+) a gramnegativním (G^-) bakteriím. Testované vzorky upravené (obsahující koloidní stříbro) a neupravené o průměru $4,8 \pm 0,1$ cm se vloží na agarovou desku a jsou napuštěny inokulem bakterií o koncentraci $1,3 - 1,6 \times 10^5$ /ml. Po inkubační době je bakteriostatická aktivita koloidního roztoku spočítána podle vzorce: /11/

$$R(\%) = \frac{A - B}{A} \cdot 100 \quad [1]$$

kde R.....stupeň redukce

A.....počet kolonií bakterií na neupraveném vzorku

B.....počet kolonií bakterií na upraveném vzorku

2.1.4 Metody analytického stanovení množství stříbra

Stanovením množství složky ve vzorku se zabývá kvantitativní analýza. Analytické metody se dělí na:

a) Klasické (chemické) metody – přímé metody, základem jsou stechiometricky probíhající reakce. Patří sem vážková analýza (gravimetrie), odměrná analýza (titrační metody).

b) Instrumentální metody – využívají fyzikálních a fyzikálně–chemických vlastností analyzovaného materiálu (absorpce, vodivost...), jsou to metody nepřímé. Patří sem spektrofotometrie UV a VIS, atomová absorpční spektrometrie (AAS) a atomová emisní

spektrometrie (AES). /12/ Postup analytického stanovení množství stříbra metodou AES je popsáno v experimentální části v kapitole 4.2.4..

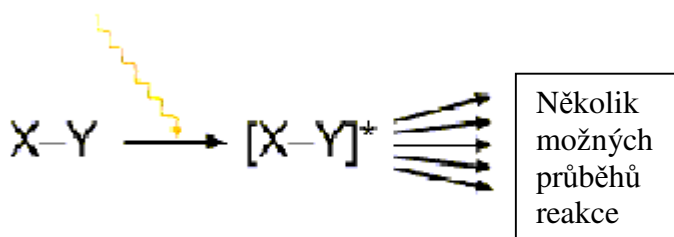
2.2 Fotochemie stříbra

2.2.1 Fotochemické reakce

Látkové přeměny, které probíhají působením světelné energie, se v chemii nazývají fotochemické reakce. V přírodě jsou velmi rozšířené. Nejdůležitější z nich je fotosyntéza, tj. přeměna oxidu uhličitého ze vzduchu na sacharidy, probíhající v zelených rostlinách. Mezi fotochemické reakce však také patří bělení prádla, blednutí barev nebo zrakový vjem. /13, 14/

Podstatnou složkou fotochemických reakcí jsou fotony, tím se fotochemické reakce odlišují od ostatních chemických reakcí. Úloha světla spočívá ve zvýšení energie částic reagujících látek při absorpci fotonů. Děj předávání energie mezi fotony a reagujícími částicemi se nazývá aktivace; je to příprava částic k vlastní chemické reakci. Po aktivaci jsou částice schopny navzájem reagovat. Fotochemická reakce tedy představuje dva nebo více dějů, z nichž první je přímé působení světla na částice reagujících látek, tzv. primární děj. Následující sekundární děje jsou vzájemné chemické reakce aktivovaných částic mezi sebou, popřípadě s jinými částicemi. /15/

Fotochemické reakce jsou velmi různé a nelze je systematicky rozdělit. Mohou být vratné – reverzibilní nebo nevratné – ireverzibilní. Vratná reakce může být způsobena přerušením světelného toku nebo změnou frekvence. /16/



Obr. 2.4: Schéma působení světla na chemickou látku. Světlem excitovaná látka může reagovat různými způsoby.

Ačkoliv existuje mnoho sloučenin, které podléhají účinkem záření chemickým změnám, jen jediná reakce byla doposud ve velkém použita pro fotografické

- změnou frekvence jako je fluorescence nebo fosforescence
- chemickou reakcí jako fotooxidace, fotoredukce, fotosyntéza, fotolýza, apod. /16/

2.2.2.2 Absorpce záření

Pouze záření, které se ve hmotě absorbuje, může vyvolat fotochemickou změnu. Účinky jsou tím větší, čím větší je intenzita záření.

Einsteinův fotochemický zákon ekvivalence řeší vztah mezi množstvím přeměněné látky a množstvím pohlceného záření. V primárním kroku fotochemické reakce připadá na jednu aktivovanou částici hmoty jedno světelné kvantum – jeden foton. Množství zářivé energie E absorbované hmotou je dáno výrazem

$$E = n \cdot h \cdot \nu \quad [2]$$

kde n je látkové množství v molech, vzorek látky má látkové množství 1 mol, obsahuje-li stejný počet základních částic, kolik atomů je obsaženo ve 12 g nuklidu uhlíku ^{12}C , h je Planckova konstanta, $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s, ν je kmitočet. Počet částic připadající na 1 mol látky udává Avogadrova konstanta $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. /15, 17/

2.2.3 Světlocitlivé látky

Účinkem záření dochází u určitých látek k fyzikálním, fyzikálně-chemickým nebo chemickým změnám. Na tom je založena většina technických postupů sloužících k záznamu obrazu a tyto látky se obecně označují jako světlocitlivé. Látky citlivé k světlu reagují obvykle více či méně i na ostatní záření. /13/

Kromě vysoké citlivosti k danému záření požadujeme od světlocitlivých látek, aby byly levné, snadno dostupné, stabilní, nejedovaté a musí umožňovat realizaci takových zobrazovacích procesů, které jsou jednoduché, produktivní, snadno ovladatelné, atd. Od obrazu pak žádáme určité barvy, gradaci, rozlišovací schopnost, stálosti, atd. /13/

2.2.3.1 Halogenidy stříbra

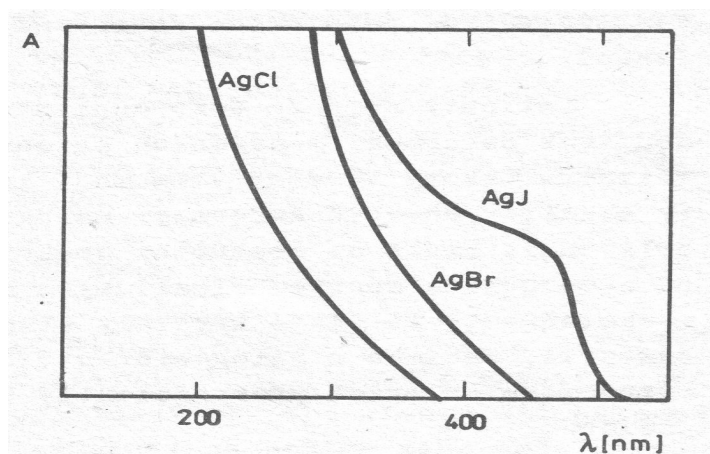
Z halogenidů stříbra se pro fotografické účely používá chlorid stříbrný, bromid stříbrný a jodid stříbrný. Fluorid stříbrný se nepoužívá, protože je citlivý pouze za vlhka a je-li osvětlen vlhký, přechází na nerozpustný hydroxidofluorid stříbrný.

Halogenidy stříbra se liší chemickými a fyzikálními vlastnostmi, citlivostí ke světlu (fotoaktivitou) a spektrální citlivostí, což je citlivost k záření určitých vlnových délek. /16/

2.2.3.1.1 Spektrální citlivost halogenidů stříbra

Bezbarvý chlorid stříbrný je citlivý v oblasti krátkých vln, jeho maximum absorpce je v oblasti krátkovlnného viditelného modrofialového a neviditelného ultrafialového záření. K větším délkám vln je prakticky necitlivý. Do viditelné oblasti až za modrou barvu sahá citlivost nažloutlého bromidu stříbrného. Silněji žlutě zbarvený jodid stříbrný dosahuje maxima absorpce při ještě větších vlnových délkách. /13/

Citlivost k různým vlnovým délkám je ovlivněna způsobem přípravy halogenidů stříbra a také jejich použitím ve směsi. Například bromid stříbrný s příměsí jodidu stříbrného získává spektrální citlivost k delším vlnám. /13/



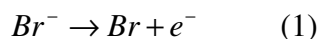
Obr. 2.6: Absorpce světla v krystalech halogenidů stříbra

2.2.3.1.2 Účinky světelného záření na halogenidy stříbra

Halogenidy stříbra se účinkem světla rozkládají, takovýto rozklad se nazývá fotolýza. Bromid, chlorid i jodid stříbrný jsou soli. Pro soli je charakteristické, že v pevném skupenství tvoří krystaly přesně definovaného tvaru, které jsou vystavěny z pravidelně rozmístěných elementárních částic. Těmito elementárními částicemi jsou ionty, částice, kterým chybí nebo přebývá elektron. Kladně nabitý ion – kation je částice s chybějícím elektronem, záporně nabitý ion – anion je částice s přebývajícím elektronem. Nesouhlasně nabití ionty se v krystalu navzájem přitahují.

V krystalu bromidu stříbrného tak je okolo každého kationtu Ag^+ šest aniontů Br^- a naopak. Takto je vytvořena pravidelně uspořádaná krychlová krystalová mřížka. Pokud jsou všechna místa v krystalové mřížce zaplněna, je zároveň postaráno o vyrovnaní nábojů. Je-li však některá poloha neobsazená nebo obsazená cizím iontem, vzniká tzv. krystalová porucha. Takováto místa mají velmi důležitou úlohu, neboť na nich závisí citlivost fotografického materiálu.

Světelná energie působí na krystal halogenidu stříbrného tak, že umožní odtržení jednoho elektronu z bromidového aniontu:



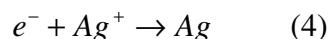
Z bromidového aniontu tak vznikne atom bromu. Celý tento děj se odehraje na povrchu krystalu a atom bromu buď reaguje s jinou látkou, např. s želatinou citlivé vrstvy, nebo se sloučí s jiným atomem bromu a vytvoří molekulu bromu, která se vypaří do okolí:



Atom bromu se však může spojit zpět s elektronem za vzniku bromidového aniontu a uvolnění tepla:



Tato rekombinace nastává tím pravděpodobněji, čím více je elektronů v okolí atomu bromu. Pokud k této ani k žádné z dříve uvedených reakcí nedojde, vzniká v krystalové mřížce přebytek elektronů. Ty se rychle spojují se stříbrnými kationty a poskytují tak atomární kovové stříbro:



Působí-li světlo na halogenid stříbrný dlouho, shlukují se atomy stříbra ve větší aglomeráty, takže lze pozorovat postupné černání materiálu. Pokud se veškerý brom chemicky váže ihned po uvolnění, může dojít k úplnému fotolytickému rozkladu halogenidu stříbrného. /13/

2.2.3.1.3 Fotovodivost halogenidů stříbra

Fotovodivost čili fotokonduktivita je elektrická vodivost způsobená účinky světla. Ve tmě je elektrická vodivost halogenidů stříbra velmi malá, působením světla, zvláště v oblasti kratších vln, silně vzroste. Čisté krystaly halogenidů stříbra jsou ke světlu poměrně málo citlivé, jejich citlivost vzrůstá do jisté míry znečištěním krystalů, krystalovými poruchami (viz předchozí kapitola). /16/

2.3 Černobílá fotografie

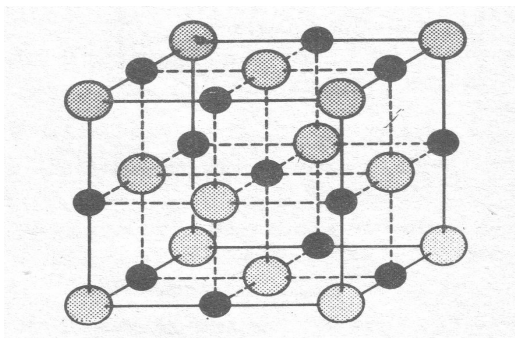
2.3.1 Princip

- vytvoření povrchové **vrstvy citlivé na světlo**
- expozice, při níž vzniká **latentní obraz**
- **vyvolání** obrazu za vzniku negativu
- vytvoření trvalého obrazu jeho **ustálením**
- zhotovení pozitivu z negativu /4/

Základem principu černobílé fotografie je citlivost halogenidů stříbrných na světlo. Povrchová vrstva (emulze) připravená z těchto halogenidů je nanášena na podkladový materiál (film) a exponována světlem. Při expozici vzniká tzv. latentní (skrytý) obraz, který je potřeba zviditelnit. K tomu dochází při vyvolávání, kdy vzniká negativní obraz. Aby se tento obraz již dále neměnil, dochází k jeho ustálení. Posledním krokem je vytvoření pozitivního obrazu (fotografie) z negativu.

2.3.1.1 Latentní obraz

Otázkou jak a z čeho vzniká latentní obraz se chemici i fyzikové zabývají dodnes. Množství halogenidu stříbrného, které se při normální expozici nějak změní, je tak malé, že ho prozatím nelze analyticky určit. V průběhu let vznikla řada teorií, z nichž některé zanikly a jiné se staly podkladem dalšího výzkumu. Tyto teorie jsou převážně odvozeny ze znalostí o stavbě atomu a struktuře krystalové mřížky halogenidů stříbrných. /13/



Obr. 2.7: Krystalová mřížka bromidu stříbrného

Velmi čisté krystaly halogenidů stříbrných (jejich krystalová mřížka je popsána v kapitole 2.2.3.1.2), jsou jen málo citlivé. Příčinou zvýšené citlivosti jsou příměsi jiných iontů a nerovnoměrnosti ve stavbě krystalové mřížky. Poruchy krystalové mřížky nastávají např. tím, že se do mřížky zabuduje cizí ion s větším iontovým poloměrem. Na krystalech pak vznikají nové útvary nebo vnitřní plochy. Zvlášť aktivní jsou nové hrany a vrcholy, kde vzniká nejvíce zárodků latentního obrazu. Tato místa jsou označována jako centra citlivosti. /13/

2.3.1.1.1 Teorie latentního obrazu

Teorie Gurneyova – Mottova předpokládá při vzniku latentního obrazu dvě rychle na sebe navazující stadia:

1. elektronový proces, při kterém se účinkem základního zářivého kvanta uvolňuje z halogenidového aniontu elektron
2. iontový proces, při kterém se kation stříbra spojuje s uvolněným elektronem na atom metalického stříbra

Podle této teorie lze dále uvažovat, že se uvolněný elektron poutá na centrum citlivosti, které je tvořeno ze stříbra a sulfidu stříbrného (vzniklého reakcí složek želatiny se stříbrnými solemi při srážení emulze). Centrum citlivosti tím dostává záporný náboj, vlivem něhož se dostává kation stříbra k centru citlivosti a neutralizuje je za vzniku metalického latentního stříbra. /17/

Teorie Mitchelova předpokládá stejně jako předchozí teorie, že vznik latentního obrazu probíhá ve dvou stádiích, v elektronovém a v iontovém. Z kationtu stříbra, který je v rohu a na hraně krystalu nebo který je umístěn podél dislokační linie a z intersticiálního kationtu stříbra a z uvolněného elektronu se vytvoří částice Ag-Ag^+ . Tato částice bývá označována jako primární částice, je-li v blízkosti další intersticiální kation stříbra, vytváří s ním a s uvolněným elektronem částici sublatentního obrazu Ag-

Ag-Ag⁺. Ta dává za stejných okolností vyvolatelný zárodek latentního obrazu Ag-Ag-Ag-Ag⁺. /17/

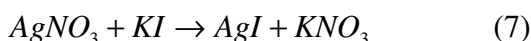
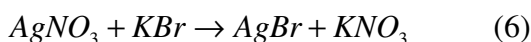
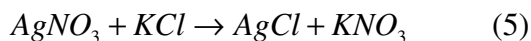
Teorie Vackova – Benešova předpokládá zachycení elektronů uvolněných z halogenidových aniontů elementárním kvantovým zářením, v záchytných hladinách. Tyto hladiny jsou pod vodivostními pásmy a fungují v různých hloubkách jako centra citlivosti. Elektronové díry se kompenzují na kationtových vakancích. Kationty stříbra jsou potom přitahovány z mezimřížkové polohy k záporným záchytným hladinám. Tím je také vysvětlena stabilizace fotochemického procesu u solí stříbra, totiž že nedojde ke zpětné rehalogenizaci stříbra.

2.3.2 Příprava fotografické emulze

Prvním krokem výroby citlivého materiálu je výroba světlocitlivé emulze, neboli srážení. Druhá část pochodu, nanášení horké emulze na podložku, se nazývá polévání. /13/

2.3.2.1 Srážení

Při tomto pochodu se sráží roztok dusičnanu stříbrného s roztoky chloridu, bromidu nebo jodidu draselného za vzniku příslušného halogenidu stříbra a dusičnanu draselného podle rovnic:



Při srážení se postupuje obvykle tak, že se želatinový roztok dusičnanu stříbrného lije za zvýšené teploty do želatinového roztoku draselných solí halogenů. /16/

Podle toho, jaké se volí podmínky při srážení halogenidostříbrných emulzí je možné získat materiály nejrůznějších vlastností. V určitém rozmezí lze požadované vlastnosti emulze získat změnou teploty, koncentrací solí, koncentrací a druhem želatiny, rychlostí směšování složek, rychlostí míchání atd. /13/

Při srážení emulze se rozlišují dvě fáze. První je fyzikální zrání suspenze (podle velikosti částic jsou fotografické vrstvy suspenzí, častěji se používá vžitý technický

výraz emulze) krystalků halogenidů stříbra v želatině. První zrání bývá převážně tepelné a ovlivňuje narůstání zrn halogenidu stříbrného. Velkou úlohu zde hraje jakost fotografické želatiny. Malá zrnka halogenidů stříbra se rozpouštějí a narůstají zrna větších rozměrů. Po tomto Ostwaldově zrání se ztuhlá emulze rozřeže na nudličky a vypírá se studenou vodou, aby se odstranily produkty vzniklé vedlejšími reakcemi. /13, 19/

Fotochemické vlastnosti proprané emulze se zlepšují druhým neboli chemickým zráním. Obvykle se toto druhé chemické zrání rozděluje do dvou fází. Při první fázi druhého zrání se navodí podmínky, které jsou téměř optimální pro druh a jakost konečné emulze. V druhé fázi neboli konečné fázi druhého chemického zrání se přidává želatina, jejíž kvalita silně ovlivňuje vlastnosti emulze. /16/

2.3.2.2 Nanesení světlocitlivé vrstvy na podložku („polévání“)

Než se emulze nanese na podložku, musí se znovu roztavit a musí se k ní přidat potřebné přísady popsané v kapitole 2.3.3, jako jsou stabilizátory, senzibilátory, utvrzovače, smáčedla atd. Před poléváním se pak emulze filtruje a nechá se delší dobu v klidu, aby mohly vyplavat vzduchové bublinky. /19/

Filmy i desky musí být před poléváním opatřeny kontaktní vrstvou obsahující želatinu, která zprostředkuje pevné zakotvení citlivé vrstvy na podložce. Aby byla zaručena rovnoměrnost fotografických vlastností, je nutno dodržet velkou přesnost tloušťky polevu. Proto byla pro polévání filmů a papírů zkonstruována komplikovaná a precizní polévací zařízení. /13/

2.3.3 Složky fotografického materiálu

Složkami citlivých černobílých fotografických materiálů jsou halogenidy stříbra, želatina, senzibilátory, stabilizátory, antihalační látky, antistatické prostředky, utvrzovače, konzervační látky, smáčedla a podkladový materiál. /16/

2.3.3.1 Želatina

Želatina má při výrobě světlocitlivých vrstev několik funkcí a musí proto mít tyto požadované vlastnosti: působit jako ochranný koloid, nést mikroskopické částice (zrna) halogenidů stříbrných, nesmí ve větší míře chemicky reagovat ani fyzikálně ovlivňovat halogenidy stříbra, mají jí dokonale prostupovat roztoky vyvolávacích a ustalovacích sloučenin, nemá podstatně reagovat s vyvolávači a ustalovači ani s jejich

zplodinami, musí mít dostatečnou bobtnavost ve vodě, má mít schopnost vratně přecházet v sol-gel. /16/

Surovinou pro výrobu fotografické želatiny jsou kůže nebo plné kosti. Chemické složení želatiny není jednotné, hydrolýzou dává aminokyseliny, které se mohou pomocí peptidické vazby slučovat v polypeptidy. Protože se tak může kombinovat větší počet aminokyselin s různou délkou řetězce nebo např. s různými substituenty, může vzniknout nekonečné množství strukturních variací. Želatina není nikdy přesně definovanou chemickou sloučeninou, a proto je velmi obtížné získat stálý sortiment želatiny pro průmyslovou výrobu fotografických emulzí. /13/

Důležitou složkou želatiny jsou látky, které způsobují urychlení zrání a podílejí se na zvýšení citlivosti emulze a složky opačné funkce, které naopak snižují citlivost emulze a brzdí zrání emulzí. Tyto látky jsou v želatině přítomny jen v nepatrných koncentracích a prozatím jsou velmi málo prozkoumány. /16/

Snaha po odstranění kolísavého složení želatiny vede k jejímu nahrazování syntetickými výrobky, např. polyvinylalkoholem, který ovšem nepůsobí jako ochranný koloid a nemá všechny významné vlastnosti želatiny, která je proto dosud nenahraditelnou surovinou ve fotografickém průmyslu. /16/

2.3.3.2 Senzibilátory

Senzibilátory jsou obecně složky, které zcitlivují zrna halogenidů stříbra v emulzi. Jsou to jednak složky samotné želatiny, jednak chemické sloučeniny, které se přidávají při výrobě emulze hlavně ve fázi druhého zrání. /16/

Halogenidy stříbrné jsou nejcitlivější v krátkovlnné oblasti, tj. k modrému a fialovému záření. Zcitlivění halogenidů stříbrných i k jiným vlnovým délkám slunečního spektra, čili senzibilace, je podle mechanismu působení fyzikální neboli optická, chemická a fyzikálně-chemická. Dřívější fotografické desky byly „barvoslepé“ a teprve přidavek některých barviv (optická senzibilace), který zcitlivil halogenid stříbrný i pro červenou a zelenou oblast, vedl k rozvoji barevné fotografie. /13/

Senzibilizační barviva jsou organické sloučeniny s konjugovanými vazbami, tj. se střídajícími se jednoduchými a dvojnými vazbami ($-C=C-C=C-$). Jejich řetězec je ukončen atomem prvku se šesti nebo pěti valenčními elektrony. Přesunem pohyblivých

π elektronů v řetězci se může vytvořit náboj. Přesun elektronů je podporován světelným zářením. Podle toho, jaké náboje se vytvoří, zda kladné, záporné nebo obojí, se rozlišují barviva bazická, kyselá nebo neutrální. /16/

2.3.3.3 Stabilizátory

Při vyvolávání osvitnutých fotografických vrstev se vyredukuje metalické stříbro převážně jen z míst zasažených světlem. Jen v nepatrném množství se vyredukuje stříbro i v místech světlem nezasažených. Toto množství stříbra vytváří šedý závoj. Šedý závoj musí být malý u negativních emulzí, u pozitivních vrstev musí být zcela nepostřehnutelný zrakem. Hodnota šedého závoje se označuje jako zčernání neboli denzita. /17/

Na hodnotu šedého závoje má vliv mnoho činitelů. Jsou to způsob přípravy emulze, váhový poměr halogenidů stříbrných k dusičnanu stříbrnému, doba srážení emulze atd. Stabilizátory, které se přidávají do emulze během její přípravy, mají snížit hodnotu šedého závoje na požadované minimum. Nejstarším stabilizátorem je bromid draselný. Nelze ho však použít pro chlorostříbrné vrstvy, neboť by se podvojným rozkladem uvolnil chlorid draselný, který nemá stabilizační účinky. V takovém případě se používá benzimidazol, benztriazol nebo nitrobenzimidazol a další organické, převážně heterocyklické sloučeniny. Jsou to stabilizátory, které se přidávají do všech typů emulzí. /17/

Mechanismus podstaty děje zabraňující tvorbě šedého závoje není jednoznačně vysvětlen. Pravděpodobně se na stabilizačních účincích podílí více faktorů. V podstatě jde o adsorpci stabilizačních sloučenin na povrchu zrna halogenidů stříbrných, v některých případech jde i o vytvoření sloučenin stabilizátoru se stříbrem a v neposlední řadě také o vytváření komplexů, ze kterých je stříbro pomaleji redukovatelné, než z osvitnutých halogenidů stříbrných. /17/

2.3.3.4 Antihalační látky

Zrna halogenidů stříbra jsou v emulzi atakovaná světlem různého původu. Převážná většina zrn je zasažena přímým dopadem paprsků, které dopadají na vrstvu. Nepohlí-li se intenzivnější paprsek v zrnu, na které dopadl, odráží se od něj. Odražená část záření atakuje sousední zrna halogenidu stříbra. Při silnější intenzitě se nemusí veškeré záření absorbovat v citlivé vrstvě a prochází až k podkladu. Od podkladu se část

záření odrazí zpět do vrstvy a atakuje další zrna v emulzi. Po vyvolání se v negativu objeví difúzní a halační kruh. /17/

Aby se paprsek prošlý citlivou vrstvou neodrážel od podkladu, nanášejí se na zadní stranu podkladového materiálu antihalační vrstvy. Ty mají absorbovat nadměrné záření, které v tomto případě prochází i podkladem. Nanášejí se obvykle barviva kyselého charakteru, aby se během vyvolávání rozpustila v alkalické vývojce. U skleněných desek se na zadní stranu nanáší spektrálně vhodné barvivo. U filmových podkladů se kombinuje antihalační funkce nánosu s funkcí zamezení kroucení filmů. Smršťivost nánosů na zadní straně filmu má být shodná se smršťivostí citlivé vrstvy. Také v tomto případě jsou antihalační barviva rozpustná ve vývojce. Antihalační barviva se spektrálně shodují s příslušnou senzibilací. /17/

2.3.3.5 Antistatika

Velmi nepříjemnou záležitostí, hlavně u filmových materiálů, je vytváření statické elektřiny. Centra statické elektřiny se mohou tvořit při rychlém pohybu filmových materiálů nejen při výrobě, ale i při rychlém přetáčení ve fotografických přístrojích. Po dosažení určitého kvanta se centra nábojů vybíjejí a zanechají ve vyvolaných vrstvách světelnou stopu keříčkovitých tvarů. /17, 19/

Ve výrobě se k zamezení tvoření nábojů používá neutralizátorů, a to radioaktivních se zářením α a β . Dobrých výsledků při potlačování tvorby nábojů se dosahuje také nánosem ionických vrstev. Jsou to vrstvy s opačným nábojem a obsahují převážně kvartérní organické soli dusíku (amoniové organické soli) s ionogenní vazbou. Lze použít i jiné sloučeniny, které obsahují hydrofilní skupiny. /16/

2.3.3.6 Utvrzovače

Aby se želatina při zpracování osvitnutých vrstev nerozpouštěla, musí se částečně vytvrdit. Tím se snižuje její bobtnací schopnost a zamezuje se tvorba solů. Také je tím odstraněno nebezpečí ztekucení želatinových vrstev při zpracování v teplejších roztocích. Želatina se dá vytvrdit formaldehydem nebo solemi hliníku nebo chromu. /13/

K utvrzení v případě formaldehydu dochází reakcí aldehydové skupiny – CHO formaldehydu s aminovou skupinou $-\text{NH}_2$ želatiny za vzniku hydroxymethylenderivátu. /13/

Z chromitých a hlinitých solí se k vytvrzení želatiny používají síran draselno-chromitý a síran draselno-hlinitý (kamenec). Zpevnění želatiny nastává vznikem chromité nebo hlinité komplexní sloučeniny želatiny. /17/

Dalším způsobem utvrzování je kombinace vývojek a utvrzovacích lázní nebo přídavek síranu sodného do vývojky a to z důvodu zvýšeného bobtnání želatiny v alkalických vývojkách. Síran sodný s želatinou nereaguje, ale pouze zmenšuje její schopnost přijímat vodu tím, že zvyšuje koncentraci solí v roztoku. V průběhu dalšího zpracování se soli z citlivé vrstvy rychle vyperou a jejich účinek zanikne. /13/

2.3.3.7 Konzervační látky

Želatina jako živočišný produkt je živným substrátem pro bakterie. Zvláště je napadána bakteriemi při vyšším obsahu vlhkosti. V místech bujení bakterií je želatina stravována, což se projeví skvrnkami v negativních vrstvách. Některé druhy bakterií želatinu ztekucují. Proto se do emulzí přidávají složky s baktericidním účinkem. Podmínkou je, aby tyto složky neovlivňovaly kvalitu citlivé vrstvy. Nejpoužívanější konzervační látkou je fenol C_6H_5OH . /16/

2.3.3.8. Smáčedla

Smáčedla, která se přidávají k emulzím před poléváním, snižují povrchové napětí emulze. Ta se rovnoměrně polévá a netvoří se šmouhy. Používanými látkami jsou organické látky typu sulfonovaných vyšších alkoholů ve formě sodných nebo draselných solí. /17/

2.3.3.9 Podkladový materiál

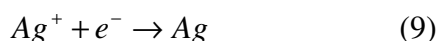
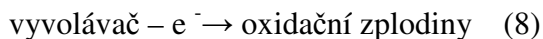
Fotografická citlivá emulze se polévá na podkladový materiál, kterým je sklo, film, papír nebo plastické hmoty. /14/

2.3.4 Vyvolávání

Vyvoláním osvitnutých černobílých fotografických materiálů se redukuje kovové stříbro v těch místech emulze, která byla atakována aktivním světlem. Je to zviditelnění latentního obrazu, který vznikl v citlivé vrstvě po absorpci optimální světelné energie. /20/

Vyvolání je oxidačně-redukční proces, při kterém probíhá vzájemná výměna elektronů. Má-li se z halogenidu stříbra redukovat kationt stříbra Ag^+ na metalický atom

stříbra Ag, musí každý kationt stříbra přijmout jeden elektron. Elektron dodá složka vývojky, která se obecně nazývá vyvolávač. Vyvolávač se ztrátou elektronu oxiduje, z původního vyvolávače vzniknou jeho oxidační zplodiny. Znázornění průběhu oxidačně-redukčního procesu: /16/



2.3.4.1 Vývojky

Vývojky jsou roztoky chemických sloučenin obsahující několik složek nutných pro vyredukování stříbra z osvitnutých míst emulze. Složení vývojek je velmi rozmanité a volí se podle druhu citlivého materiálu a podle požadavků kladených na kvalitu obrazu. /17/

Fotografické vývojky obsahují následující složky: vyvolávač nebo směs vyvolávačů, konzervační látky, alkálie, protizávojové látky, speciální přísady a vodu jako rozpouštědlo. /18/

2.3.4.2 Vyvolávače

Vyvolávače jsou sloučeniny anorganického nebo organického charakteru. Původní vyvolávače byly z řad anorganických solí a to zejména síran železnatý. Organické vyvolávače uplatňované od konce devatenáctého století mají v molekule substituenty redukční povahy. Nejúčinnějšími vyvolávači jsou aromatické sloučeniny, především hydroxyderiváty a aminoderiváty benzenu jako jsou hydrochinon a metol, dále pak pyrokatechin, fenidon, amidol a další. /16/

Vhodná je kombinace dvou a více vyvolávačů, kdy nastávají jevy, které při jejich odděleném použití nevznikají. Příznivé je například použití hydrochinonu s metolem, kdy nastává tzv. superaditivita, což znamená, že produkty oxidace partnerské látky jsou hydrochinonem redukovány zpět a mohou se tedy uplatnit ve vyvolávacím procesu vícekrát. Proto se během vyvolávání zpočátku nepozoruje úbytek metolu. /13/

2.3.4.3 Druhy vývojek

V literatuře je popsána celá řada vývojek, jejichž složení je velmi rozdílné. Podle druhu vyvolávaného černobílého materiálu se rozlišují vývojky negativní a pozitivní. Negativní vývojky se rozlišují podle způsobu, jakým vyvolávají. Jsou to vývojky pro fyzikální vyvolávání, vývojky pro chemické vyvolávání a vývojky pro fyzikálně-chemické vyvolávání. /13, 16/

Vývojky pro fyzikální vyvolávání se od ostatních liší tím, že se do nich těsně před použitím přidává dusičnan stříbrný. Z dusičnanu stříbrného se vyvolávačem redukuje velmi jemné koloidní stříbro, které se ukládá do vrstvy a adsorbuje se na metalickém stříbru, které ve vrstvě vzniklo jako latentní obraz po osvitu emulze.

Vývojka je ve dvou roztocích, které se těsně před použitím smísí. Po krátké době se začne v roztoku vylučovat jemné koloidní stříbro. /16/

Vývojky pro chemické vyvolávání dávají ze všech vývojek nejhrubší zrno. Stříbro se redukuje přímo z osvitnutých halogenidů stříbrných, tedy přímo ve vrstvě. Vývojky pro chemické vyvolávání obsahují běžné složky uvedené v předchozí kapitole. /16/

Vývojky pro fyzikálně-chemické vyvolávání jsou označovány za nepravé jemnozrné vývojky. Obsahují složky, které rozpouštějí halogenidy stříbra a převádějí je z vrstvy do roztoku vývojky. Ve vrstvě probíhá chemické vyvolávání. Ze stříbrných solí přešlých do vývojky se vyredukuje stříbro, které se usazuje zpět do vrstvy na zrna metalického stříbra. Složky, které rozpouštějí halogenidy stříbra jsou siřičitan sodný, rhodanid draselný a rhodanid amonný. /16/

2.3.5 Ustalování

Světlem a tím i vývojkou nedotčené halogenidy stříbra se odstraní z vrstvy ustálením vyvolaného materiálu. V ustalovačích jsou jako složky složka ustalovací, složka kyselá a v některých případech složka utvrzující. /21/

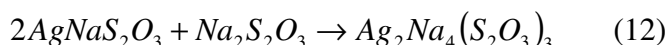
2.3.5.1 Ustalovače

Jedinou dosud používanou ustalující složkou v roztoku ustalovačů je thiosíran sodný nebo amonný. /16/

2.3.5.2 Chemismus ustalování

Ustalování probíhá v několika fázích. Nejprve se tvoří nerozpustný thiosíran stříbrný $\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3$, který přechází nadbytečným thiosíranem sodným na thiosíran sodnostříbrný AgNaS_2O_3 , který je velmi těžko rozpustný. Z jednoduchého thiosíranu sodnostříbrného vznikají dále vyšší komplexy, které jsou již rozpustné ve vodě.

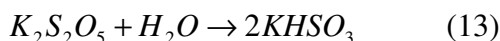
Ustalovací proces lze znázornit rovnicemi: /22/



2.3.5.3 Další složky ustalovačů

Ustalující složka - jedinou dosud používanou ustalující složkou v roztoku ustalovačů je thiosíran sodný nebo amonný. /16/

Kyselá složka - ustalování thiosíranem sodným probíhá rychleji v kyselém prostředí. Kyselou složkou ustalovače je hydrogensířičitan sodný NaHSO_3 , případně hydrogensířičitan draselný KHSO_3 . Při přípravě ustalovačů se místo hydrogensířičitanů používá disiřičitan draselný $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$. Disiřičitany ve vodě hydrolyzují na hydrogensířičitany podle rovnice: /16/



Utvrzující složka - v některých případech obsahují ustalovače ještě složku, která utvrzuje želatinu. K utvrzení želatiny se přidávají síran chromito-draselný $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ nebo síran hlinito-draselný $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$. /16/

2.4 Barevná fotografie

2.4.1 Barevné fotografické materiály

Základem pro obrazový záznam u barevných fotografických materiálů jsou také halogenidy stříbra. Vlastní barevný záznam je tvořen barvivem, která jsou většinou v nezpracovaném fotografickém materiálu obsažena v bezbarvé formě.

Podobně jako kolorimetrická měření nebo vnímání barevných podnětů lidským okem dělí barevný fotografický materiál záznam předmětů na tři základní barvy, a to prostřednictvím modrocitlivé, zelenocitlivé a červenocitlivé emulzní vrstvy. Emulzní vrstva obsahuje halogenid stříbra a barevnou komponentu. Modrocitlivá vrstva obsahuje komponentu tvořící žluté barvivo, zelenocitlivá vrstva obsahuje komponentu tvořící purpurové barvivo, červenocitlivá vrstva obsahuje komponentu tvořící modrozelené barvivo. Vlastní barvivo se tvoří v emulzní vrstvě až po vyvolání. Barevné fotografické materiály tedy registrují barvy předmětů podle základních barev, ale vlastní záznam je v barvách komplementárních. /23/

Jak bylo naznačeno v předchozím odstavci, vlastní barvivo obsažené v materiálu v bezbarvé formě se získá buď pomocí barvotvorného vyvolání nebo bělícími postupy. /23, 24/

2.4.2 Barvotvorné vyvolávání

Pomineme-li přítomnost barvotvorné složky a tvorbu barviva, probíhá celá reakce podobně jako při černobílém vyvolávání. Exponovaný halogenid stříbrný je redukován na kovové stříbro a současně jsou do roztoku uvolňovány bromidové a vodíkové ionty. Vytvořené barvivo je nerozpustné ve vodných roztocích a zůstává proto v želatině v místech svého vzniku okolo vyvolaného halogenidu stříbrného. Jelikož vlastní průběh vyvolávání spočívá v tom, že molekula vyvolávací látky musí odevzdat elektron stříbrnému iontu, je výhodné použít takových vyvolávacích látek, které mají jeden vodík v benzenovém jádru substituován alkylovou skupinou, a to v poloze ortho vzhledem k aminoskupině, na kterou se váže barvotvorná složka. Reakce se tím usnadní a zároveň urychlí. /24/

Specifická struktura vyvolávací látky ovlivňuje rozpustnost barviv vytvořených s její pomocí, i jejich stabilitu a přesnost barevného odstínu získaného v kombinaci s určitou barvotvornou složkou. /24/

Jednou z hlavních nevýhod většiny substituovaných p-fenylendiaminových látek je, že ve styku s pokožkou vyvolávají závažná kožní onemocnění. /24/

2.4.2.1 Vyvolávací látky

Vyvolávací látka musí splňovat několik kritérií. Nesmí se příliš rychle rozkládat vlivem vzdušného kyslíku a musí dostatečně rychle reagovat s latentním obrazem a tedy rozlišovat exponovaná a neexponovaná zrna halogenidu stříbrného a vyvolávat obraz s co nejmenším závojem. Vytvořená barviva pak mají mít dostatečnou stabilitu a příslušnou barevnost. /24/

Základní vyvolávací látkou použitelnou do barvotvorných vývojek je p-fenylendiamin a jeho substituenty. Tyto látky vážou barvotvornou komponentu na volnou aminoskupinu $-NH_2$. /24/

2.4.2.2 Barvotvorné složky

Mezi barvotvorné složky vhodné pro barevný vyvolávací proces patří řada různých sloučenin. Podle toho, zda obsahují aktivní methylenovou nebo methinovou skupinu a podle umístění methylenové skupiny se dělí na tři základní druhy:

a) Sloučeniny s aktivní methylenovou skupinou v otevřeném řetězci, vytvářející většinou žluté barvivo. Reakcí těchto sloučenin s aminy vznikne žluté azomethinové barvivo. /24/

b) Sloučeniny s aktivní methylenovou skupinou v cyklickém řetězci, jako jsou např. pyrazolony, dávají purpurové barvivo. /24/

c) Sloučeniny typu fenolů nebo naftolů s aktivní methinovou skupinou v poloze para k hydroxylové skupině $-OH$ na benzenovém jádru. Reakcí těchto složek s vyvolávací látkou vzniká azurové barvivo. /24/

2.4.3 Bělící postupy

Jedná se o proces zcela opačný než je obvyklý vznik barviva na exponovaných místech citlivé vrstvy. Jde o proces založený na destrukci barviva ve vrstvě a byl vyvinut s cílem nahradit obvyklá barviva jinými, která by dávala čistší barvy a vyznačovala by se větší stabilitou k účinkům světla. Postup sám o sobě je znám již řadu let, v praxi se však uplatnily až procesy založené na redukci azobarviv v silně kyselém roztoku za přítomnosti stříbra. /24/

Světlocitlivé fotografické vrstvy obsahují kromě halogenidu stříbrného již hotová barviva, která se teprve po expozici a vyvolání odstraní z exponovaných míst vybělením. Zpracovatelský postup začíná použitím černobílé vývojky normálního složení, pak následuje utvrzení v roztoku formaldehydu. Při odstraňování barviva z exponovaných míst v bělící lázni se každá azoskupina barviva rozloží a vytváří dvě nezávislé aminoskupiny. Celá reakce probíhá za přítomnosti halogenových iontů a thiomocoviny. Koncentrace volných stříbrných iontů je tak udržována na nízké úrovni, aby proces nenabyl reverzibilního charakteru. /24/

Nerozložené barvivo nesmí podléhat žádným změnám především v dalších lázních. Aminy, které vznikly rozložením azoskupin, musí být dostatečně rozpustné v bělící lázni. Barevné vyvážení snímku lze hodnotit teprve po závěrečném praní. /24/

2.5 Bavlna

Bavlna patří mezi vlákna přírodního původu, jejichž podstatou je celulóza. Z hlediska objemu výroby je bavlna nejzpracovávanější textilní surovinou, velký význam mají i její směsi se syntetickými vlákny. /25/

2.5.1 Složení

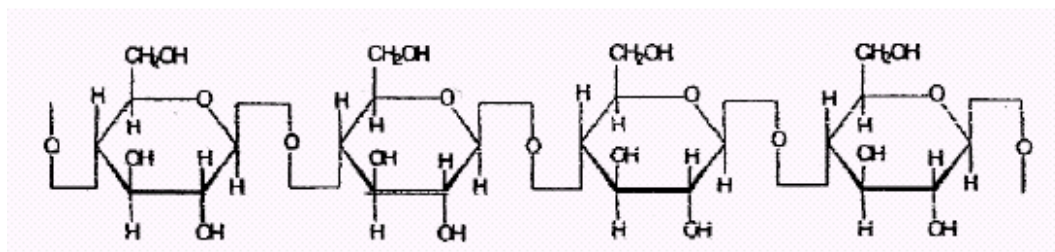
Chemické složení bavlny je různé podle druhu, zralosti, půdních a povětrnostních podmínek. Průměrné složení bavlny: /26/

celulóza	88 – 96 %
pektiny	0,9 – 1,2 %
bílkoviny	1,1 – 1,9 %
vosky	0,3 – 1 %

organické kyseliny	0,5 – 1 %
minerální soli	0,7 – 1,6 %
cukry	0,3 %
ostatní	0,9 %

Celulóza je nejrozšířenější organickou látkou na zemi. Je to polysacharid, jehož základní stavební jednotkou je β -glukopyranóza spojená do polymeru 1,4- β -glykosidickými vazbami. Základní strukturní jednotkou celulózy je disacharid celobióza. Navázáním několika tisíc základních jednotek β -glukózy vzniká makromolekula celulózy v bavlně. Průměrný polymerační stupeň bývá asi 2000. Prostorovým uspořádáním polymeru celulózy je židličková forma. /25/

Přítomnost alkoholických skupin významně ovlivňuje fyzikální, fyzikálně-chemické a chemické vlastnosti celulózy. Mezi alkoholickými skupinami celulózy vznikají vodíkové můstky. Tyto vazby mohou nastávat nejen mezi různými molekulami (intramolekulární vazby), ale i uvnitř jedné molekuly (intermolekulární vazby). Tím se dostávají řetězce do těsnějšího kontaktu a vzájemně na sebe energeticky působí. Celulóza je tedy látka málo reaktivní, což je dáno právě jejím chemickým složením a strukturou. /27/



Obr. 2.8: Vzorec celulózy

Pektiny jsou látky, jejichž základem je pektinová kyselina (kyselina poly-D-galakturonová).

Bílkoviny jsou tvořeny jednoduchými nízkomolekulárními peptidy, tj. amidy aminokyselin, které jsou spojené jednoduchou peptidickou vazbou $-\text{CO}-\text{NH}-$.

Vosky jsou tvořeny vyššími mastnými kyselinami a alkoholy, zčásti jejich estery.

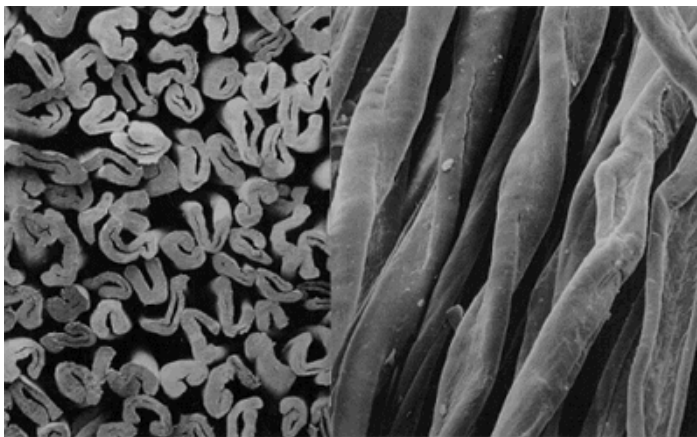
Minerální látky jsou obsaženy ve formě solí draslíku, vápníku a hořčíku. /25/

Bavlna je pórovitá (30 – 35 %), což souvisí s výbornými sorpčními a smáčecími vlastnostmi (navlhavost 7 – 9 %). Jemnost vláken se pohybuje mezi 1 – 4 dtex. Bavlněný materiál má díky vysoké přítomnosti –OH skupin širokou paletu použitelných barviv. Zejména sem patří barviva přímá, reaktivní, sirná a kypová./28/

2.5.2 Sorpční vlastnosti a bobtnavost

Základním předpokladem uskutečnění sorpce je existence sorpčních center ve vláknech, která jsou schopná vázat dané látky. Podstatou existence center jsou atomy s dostatečně velkou volnou energií, které se vyskytují nejčastěji na vnitřním a vnějším povrchu vláken. Velmi často sorpční centra tvoří funkční skupiny přítomné ve vláknech, schopné interakce s různými látkami. /29/

Celulózová vlákna, ve kterých molekula celulózy obsahuje tři -OH skupiny připadající na každou glukózovou jednotku, mohou vodíkovými vazbami vázat na každé –OH skupině molekulu vody pomocí vodíkových můstků. Celulózová vlákna jsou tedy hydrofilní. Tato schopnost tzv. sorpce vody je však omezená, nepřechází v rozpouštění celulózy, ale dochází k jejímu bobtnání, což je změna rozměrů v důsledku sorpce. /29, 25/



Obr. 2.9: Bavlněná vlákna – příčný řez a podélný směr

3. Experimentální část

3.1 Cíl práce

Cílem práce je pomocí fotochemického postupu vytvořit na bavlněné tkanině nanočástice stříbra za účelem testování této tkaniny na barevnost, baktericidnost, elektrickou vodivost a stálosti v otěru a v praní.

3.2 Použitý materiál

V této diplomové práci byla použita bavlněná tkanina a celofánová fólie.

Parametry bavlněné tkaniny:

- plošná hmotnost - $136,68 \text{ g/m}^2$
- dostava: osnova – 255 nití/dm
útek – 225 nití/dm
- tloušťka – 0,269 mm
- vazba plátňová

Parametry celofánové fólie:

- plošná hmotnost – $36,3 \text{ g/m}^2$
- tloušťka – 0,025 mm

3.3 Použité chemikálie

Činidlo 1

Činidlo 2

Činidlo 4

Vývojka FOMADON LQN

- normálně pracující negativní vývojka pro černobílé filmy a papíry
- obsahuje hydrochinon
- výrobce FOMA

Vývojka FOMATOL LQN

- pozitivní vývojka pro neutrální černý tón černobílých filmů a papírů
- obsahuje hydrochinon
- výrobce FOMA

Ustalovač FOMAFIX

- univerzální rychloustalovač pro černobílé filmy a papíry
- obsahuje thiosíran amonný
- výrobce FOMA

Metol

= N-methyl-4-aminofenolsulfát

- bílý, nažloutlý až šedivý prášek nebo jehličky, dobře rozpustný
- použití – jedna z nejpoužívanějších vyvolávacích látek
- škodí zdraví při požití, citlivějším osobám i při styku s kůží /30/

Kyselina citrónová

- krystalická látka s baktericidními účinky
- používá se při fyzikálním vyvolávání a k okyselování roztoků /30, 31/

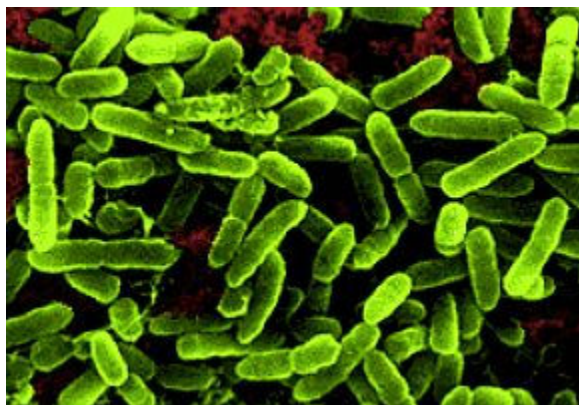
3.4 Použité přístroje a měřící zařízení

- Lampa
- DATACOLOR 3890
- digitální multimetr UT 70 C
- REM – Rastrovací environmentální elektronový mikroskop AQUASEM a systém pro akvizici a předzpracování obrazu TESCAN TS 1103
- Optický emisní spektrometr s buzením v indukčně vázaném plazmatu – GBC Integra XL (Austrálie), zařízení na výrobu demineralizované vody Milli Q⁺ - Millipore (USA) a mikrovlnný mineralizátor - speedwave MWS-3, Berghof (Německo)

3.5 Použité bakterie

Pseudomonas aeruginosa

Tato bakterie je striktně patogenní a je častým původcem nemocničních nákaz. Vyvolává záněty močových cest, středního ucha a další zánětlivé procesy, lokální infekce v popáleninách a bérkových vředech. Velmi nebezpečné jsou sepse. Je značně rezistentní k antibiotikům. /32/



Obr. 3.1: Bakterie *Pseudomonas aeruginosa*

3.6 Princip experimentů

3.6.1 Srážení činidla 4 s činidly 1 a 2 ve vláknech

Základem těchto experimentů je příprava fotografické emulze přímo ve vláknech bavlněné tkaniny a její následná expozice. Emulze byla vždy připravována reakcí činidla 4 s činidlem 1 nebo činidlem 2. Tkanina byla smočena nejprve v roztoku jednoho činidla a pak vložena do roztoku druhého činidla proto, aby se co nejvíce vznikajícího činidla 3 vysráželo přímo ve vláknech a po osvitě se zde vyredukovalo kovové stříbro.

Vzhledem k tomu, že činidlo 3 je mimořádně citlivé k záření, docházelo už během expozice k redukci stříbra, a proto u těchto vzorků nebylo nutné provést vyvolání a ustálení.

V následujících experimentech bylo použito činidlo 1, činidlo 2 a činidlo 4 v různých relativních koncentracích pro tvorbu koncentrační řady. Z těchto údajů se pak vycházelo při přípravě standardních vzorků určených pro další testování.

Relativní koncentrace použitých roztoků:

Činidlo 4:

- 10
- 50
- 100

Činidlo 1 a činidlo 2:

- 10
- 100
- 1000

3.6.1.1 Srážení činidla 4 s činidlem 1 (činidlem 2)

Postup:

a) Vzorek bavlněné tkaniny byl nejprve na 10 minut vložen do roztoku činidla 1 (činidla 2), poté odmačknut mezi filtračními papíry a sušen v sušárně nastavené na 80°C. Suchý vzorek byl pak na 10 minut vložen do roztoku činidla 4, pak opět odmačknut a sušen. Tím se ve vláknech tkaniny vysráželo činidlo 3.

b) Stejný postup jako za a) s tím rozdílem, že vzorek byl nejprve 10 minut v roztoku činidla 4 a následně 10 minut v roztoku činidla 1 (činidla 2), opět za vzniku činidla 3.

3.6.1.2 Srážení činidla 4 s činidlem 1 (činidlem 2) po 24 hodinách odležení

Postup:

Vzorek bavlněné tkaniny byl na 24 hodin vložen do roztoku činidla 1 (činidla 2), po uplynutí této doby byl odmačknut mezi filtračními papíry a sušen v sušárně při 80°C. Po usušení byl vzorek na 10 minut vložen do roztoku činidla 4, pak opět odmačknut a sušen.

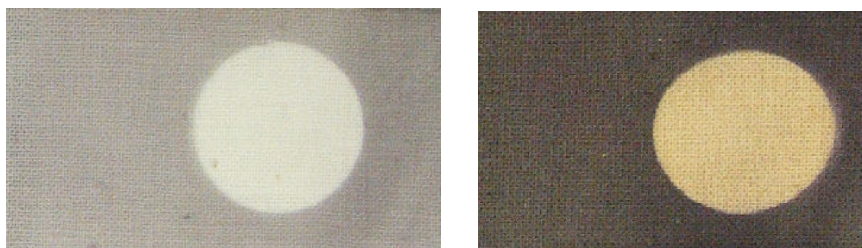
3.6.1.3 Expozice lampou

Všechny vzorky připravené předchozími postupy byly vloženy pod lampu, doprostřed každého vzorku byla položena korunová mince a vzorky byly exponovány z jedné strany po dobu 5 minut. Mince zajistila kontrastní neosvitnuté místo o reprodukovatelném rozměru.

Během expozice vzorky zhnědly vlivem vyloučeného stříbra, intenzita zhnědnutí byla v závislosti na koncentraci roztoků použitých činidel 1, 2 a 4. Tam, kde byla umístěna mince, zůstalo bílé neosvitnuté místo (kolečko). To ovšem postupem času také hnědlo, neboť činidlo 3 bylo exponováno denním světlem.

3.6.1.4 Hodnocení barevného přechodu vzorků podle šedé stupnice

Vzorky připravené předchozími postupy byly hodnoceny v koloristické skříni při světle D65 podle šedé stupnice pro hodnocení zapouštění od 5 do 1. Byl posuzován rozdíl mezi hnědou částí vzorku a bílým neosvitnutým místem, přičemž stupeň 5 byl nejmenší rozdíl, což znamená, že na vzorku se vyloučilo nejméně stříbra. Stupeň 1 naopak znamenal největší kontrast a tudíž nejvíce vyloučeného stříbra a tedy i požadovaný pozitivní výsledek. Výsledky hodnocení jsou uvedeny v následujících tabulkách č. 2–8.



Obr. 3.2: Dva vzorky připravené předchozími srážecími postupy, vlevo vzorek s nižší koncentrací stříbra, vpravo vzorek s vyšší koncentrací stříbra

Tab. č. 2 – Výsledky hodnocení barevného přechodu vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 2 postupem a)

Vzorek	První roztok Činidlo 2	Druhý roztok Činidlo 4	Hodnocení barevného přechodu podle šedé stupnice
	Relativní koncentrace		D 65
1	10	10	1-2
2	10	50	1
3	10	100	1
4	100	10	2-3
5	100	50	1
6	100	100	1
7	1000	10	1-2
8	1000	50	1-2
9	1000	100	2

Tab. č. 3 – Výsledky hodnocení barevného přechodu vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 2 postupem b)

Vzorek	První roztok Činidlo 4	Druhý roztok Činidlo 2	Hodnocení barevného přechodu podle šedé stupnice
	Relativní koncentrace		D 65
1	10	10	3
2	10	100	2-3
3	10	1000	4
4	50	10	2
5	50	100	2
6	50	1000	4
7	100	10	2
8	100	100	2
9	100	1000	3

Tab. č. 4 – Výsledky hodnocení barevného přechodu vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 1 postupem a)

Vzorek	První roztok Činidlo 1	Druhý roztok Činidlo 4	Hodnocení barevného přechodu podle šedé stupnice
	Relativní koncentrace		D 65
1	10	10	2-3
2	10	50	1
3	10	100	1
4	100	10	2-3
5	100	50	1
6	100	100	1
7	1000	10	2-3
8	1000	50	2
9	1000	100	1-2

Tab. č. 5 – Výsledky hodnocení barevného přechodu vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 1 postupem b)

Vzorek	První roztok Činidlo 4	Druhý roztok Činidlo 1	Hodnocení barevného přechodu podle šedé stupnice
	Relativní koncentrace		D 65
1	10	10	4
2	10	100	3
3	10	1000	3-4
4	50	10	3
5	50	100	2-3
6	50	1000	3
7	100	10	2-3
8	100	100	3
9	100	1000	2-3

Tab. č. 6 – Výsledky hodnocení barevného přechodu vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 2 po 24 hodinách odležení

Vzorek	První roztok Činidlo 2	Druhý roztok Činidlo 4	Hodnocení barevného přechodu podle šedé stupnice
	Relativní koncentrace		D 65
1	10	10	2
2	10	50	1
3	10	100	1
4	100	10	2-3
5	100	50	1
6	100	100	1
7	1000	10	2-3
8	1000	50	1-2
9	1000	100	1-2

Tab. č. 7 – Výsledky hodnocení barevného přechodu vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 1 po 24 hodinách odležení

Vzorek	První roztok Činidlo 1	Druhý roztok Činidlo 4	Hodnocení barevného přechodu podle šedé stupnice
	Relativní koncentrace		D 65
1	10	10	2
2	10	50	1-2
3	10	100	2
4	100	10	2-3
5	100	50	1-2
6	100	100	1
7	1000	10	2
8	1000	50	1-2
9	1000	100	2

Tab. č. 8 – Porovnání výsledků hodnocení barevného přechodu všech připravených vzorků

Relativní koncentrace činidla 1 a 2	10	10	10	100	100	100	1000	1000	1000
Relativní koncentrace činidla 4	10	50	100	10	50	100	10	50	100
	Hodnocení barevného přechodu podle šedé stupnice pro zapouštění pod světlem D65								
Srážení činidla 4 s činidlem 2	1-2	1	1	2-3	1	1	1-2	1-2	2
Srážení činidla 4 s činidlem 1	2-3	1	1	2-3	1	1	2-3	2	1-2
Srážení činidla 4 s činidlem 2 po 24 hod. odležení	2	1	1	2-3	1	1	2-3	1-2	1-2
Srážení činidla 4 s činidlem 1 po 24 hod. odležení	2	1-2	2	2-3	1-2	1	2	1-2	2

3.6.1.5 Hodnocení barevnosti vzorků

Hodnocení vzorků bylo provedeno na přístroji DATACOLOR, na kterém byly naměřeny remisní hodnoty vzorků a ty byly pomocí Kubelka-Munkovy funkce převedeny na hodnoty K/S: /33/

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad [3]$$

kde K je Kubelka-Munkův nebo zdánlivý koeficient absorpce

S je Kubelka-Munkův nebo zdánlivý koeficient rozptylu

R je stupeň remise

Tyto vypočtené hodnoty K/S jsou pak přímo úměrné koncentraci stříbra ve vláknech, čím větší je hodnota K/S, tím více stříbra se ve vláknech vyredukovalo. Hodnoty $\Sigma K/S$ jsou pak součtem jednotlivých K/S v intervalu 20 nm a jsou uvedeny v následujících tabulkách č. 9 –14.

Tab. č. 9 – Hodnoty $\Sigma K/S$ vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 2 postupem a)

Relativní koncentrace činidla 2	Relativní koncentrace činidla 4	$\Sigma K/S$
10	10	22,9
10	50	58,7
10	100	86,3
100	10	2,9
100	50	58,6
100	100	111,5
1000	10	6,2
1000	50	22,9
1000	100	11,8

Tab. č. 10 – Hodnoty $\Sigma K/S$ vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 2 postupem b)

Relativní koncentrace činidla 4	Relativní koncentrace činidla 2	$\Sigma K/S$
10	10	2,9
50	10	3,3
100	10	8,2
10	100	4,4
50	100	6,6
100	100	9,5
10	1000	1,6
50	1000	1,9
100	1000	7,8

Tab. č. 11 – Hodnoty $\Sigma K/S$ vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 1 postupem a)

Relativní koncentrace činidla 1	Relativní koncentrace činidla 4	$\Sigma K/S$
10	10	4,8
10	50	63,4
10	100	43,3
100	10	4,4
100	50	62,8
100	100	88,4
1000	10	4,5
1000	50	12,3
1000	100	26,3

Tab. č. 12 – Hodnoty $\Sigma K/S$ vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 1 postupem b)

Relativní koncentrace činidla 4	Relativní koncentrace činidla 1	$\Sigma K/S$
10	10	2,1
50	10	5,9
100	10	6,4
10	100	3,5
50	100	6,7
100	100	8,1
10	1000	2,9
50	1000	3,7
100	1000	6,2

Tab. č. 13 – Hodnoty $\Sigma K/S$ vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 2 po 24 hodinách odležení

Relativní koncentrace činidla 2	Relativní koncentrace činidla 4	$\Sigma K/S$
10	10	14,4
10	50	39,1
10	100	62,8
100	10	9,3
100	50	66,7
100	100	61,5
1000	10	8,2
1000	50	37,1
1000	100	42,9

Tab. č. 14 – Hodnoty $\Sigma K/S$ vzorků připravených srážením činidla 4 s činidlem 1 po 24 hodinách odležení

Relativní koncentrace činidla 1	relativní koncentrace činidla 4	$\Sigma K/S$
10	10	45,4
10	50	45,4
10	100	22,6
100	10	7,9
100	50	51,8
100	100	89,5
1000	10	11
1000	50	30,2
1000	100	27,8

3.6.2 Zvýšení množství stříbra ve vláknech

V následujících experimentech byla po zhodnocení předchozích výsledků použita „ideální koncentrace“ činidla 4 (relativní koncentrace 100) a činidel 1 a 2 (relativní koncentrace 100). Byl použit pouze postup vkládání vzorků do roztoků činidla

1 nebo 2 a pak do roztoku činidla 4. Opačným postupem se na vzorcích vyredukovalo menší množství stříbra.

Tímto postupem pak byly připraveny další vzorky, na kterých byly použity prostředky pro zvýšení množství stříbra na vláknech tkaniny. Těmito prostředky jsou fotografické vývojky, buď chemické nebo fyzikální.

3.6.2.1 Pokusy s komerčními chemickými vývojkami

Pokus s vývojkou FOMADON

Postup:

Vzorek bavlněné tkaniny byl na 10 minut vložen do roztoku činidla 1 (činidla 2), odmačknut a usušen a pak na 10 minut vložen do roztoku činidla 4, znovu odmačknut a sušen. Suchý vzorek byl po dobu 5 minut exponován lampou. Doprostřed vzorku byla opět položena korunová mince, tím pádem po expozici vznikl hnědý vzorek s bílým neosvitnutým místem uprostřed. Tento vzorek pak byl za neustálého pohybu 10 minut zpracováván ve vývojce FOMADON, odmačknut a usušen.

Vyhodnocení:

Tímto způsobem byly připraveny dva vzorky. U obou vzorků došlo k výraznému ztmavnutí, tzn. ke zvýšení množství stříbra na vláknech. Bohužel zároveň došlo i k zhnědnutí bílého neexponovaného místa uprostřed vzorku, což způsobilo činidlo 3, které bylo během manipulace se vzorky osvitnuto denním světlem. Bílé kolečko ale bylo i přes ztmavnutí nadále patrné.

Pokus s vývojkou FOMATOL

Postup:

Stejný postup jako v předchozím odstavci s tím rozdílem, že exponovaný vzorek byl za neustálého pohybu 2 minuty zpracováván ve vývojce FOMATOL.

Vyhodnocení:

Tímto způsobem byly opět připraveny dva vzorky, které vlivem zpracování ve vývojce FOMATOL ztmavly až na hnědočerný odstín, a to rovnoměrně po celé ploše, aniž by bylo patrné bílé neosvitnuté místo. Ve srovnání s vývojkou FOMADON je tedy vývojka FOMATOL schopna vyredukovat ještě větší množství stříbra.

3.6.2.2. Pokus s vývojkou pro fyzikální vyvolávání

Vývojky pro fyzikální vyvolávání se podstatně liší od vývojek chemických. Při fyzikálním vyvolávání se do vývojky těsně před použitím přidá činidlo 4, což má zvýšit množství získaného stříbra. Dále se liší postup zpracování materiálu. Doba expozice se prodlužuje na pětinasobek a materiál je nejprve ustálen ve slabém roztoku ustalovače a pak teprve vyvolán.

Složení fyzikální vývojky:

Roztok I: 10 g metolu

50 g kyseliny citrónové

500 ml destilované vody

Roztok II: 2 g činidla 4

20 ml destilované vody

Těsně před vyvoláním se smísí 100 ml roztoku I a 1 ml roztoku II.

Postup:

Vzorek bavlněné tkaniny byl na 10 minut vložen do roztoku činidla 1 (činidla 2), odmačknut a usušen, pak na 10 minut vložen do roztoku činidla 4, opět odmačknut a usušen. Doprostřed suchého vzorku byla vložena korunová mince a vzorek byl 25 minut exponován lampou. Po expozici následovalo ustálení v ustalovači FOMAFIX po dobu 3 minut. Pak byl vzorek zpracováván ve fyzikální vývojce za neustálého pohybu po dobu 30 minut.

Vyhodnocení:

U obou vytvořených vzorků došlo ke ztmavnutí srovnatelném s vývojkou FOMADON.

3.6.2.3 Hodnocení barevnosti

Také u vzorků připravených předchozími postupy byla hodnocena barevnost a hodnocení bylo provedeno na přístroji DATACOLOR, na kterém byly naměřeny remisní hodnoty vzorků a ty byly pomocí Kubelka-Munkovy funkce (viz kapitola 3.6.1.5) převedeny na hodnoty $\Sigma K/S$. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 15. Z dat v tabulce je patrné, že vývojka FOMATOL jako prakticky jediná opravdu zvýšila množství vyredukovaného stříbra ve vláknech. Proto byla tato vývojka používána při přípravě standardních vzorků.

Tab. č. 15 – Porovnání hodnot $\Sigma K/S$ u vzorků nevyvolaných a stejným způsobem připravených vzorků zpracovaných v rozdílných vývojkách

První roztok - relativní koncentrace 100	Druhý roztok - relativní koncentrace 100	Použitá vývojka	$\Sigma K/S$
čínidlo 1	čínidlo 4	bez vyvolání	88,4
<i>čínidlo 2</i>	<i>čínidlo 4</i>	<i>bez vyvolání</i>	<i>111,5</i>
čínidlo 1	čínidlo 4	FOMADON	79,8
<i>čínidlo 2</i>	<i>čínidlo 4</i>	<i>FOMADON</i>	<i>73,4</i>
čínidlo 1	čínidlo 4	FOMATOL	249,5
<i>čínidlo 2</i>	<i>čínidlo 4</i>	<i>FOMATOL</i>	<i>253,9</i>
čínidlo 1	čínidlo 4	vývojka pro fyzikální vyvolávání	105,6
<i>čínidlo 2</i>	<i>čínidlo 4</i>	<i>vývojka pro fyzikální vyvolávání</i>	<i>80,2</i>

3.6.3 Odstranění neexponovaného čínidla 3

Předchozími pokusy s vývojkami bylo zvýšeno množství stříbra ve vláknech, ale vznikl zde problém ze zachováním bílého neosvitnutého místa uprostřed vzorku. Při použití všech vývojek došlo zároveň se zhnědnutím vzorku i ke zhnědnutí neexponovaného místa. Důvodem bylo čínidlo 3, které sice nemohlo být atakováno zářením během expozice (na místě byla položena kovová mince), ale při následné

manipulaci se vzorkem v osvětlené laboratoři k expozici došlo a vývojkou se i v původně neosvitnutém místě vyredukovalo stříbro.

Tomuto jevu se dá zabránit použitím ustalovače, což je prostředek k odstranění neexponovaného činidla 3.

Funkčnost ustalovače byla potvrzena následujícím pokusem.

Postup:

Vzorek bavlněné tkaniny byl na 10 minut vložen do roztoku činidla 1 (činidla 2), odmačknut a sušen při 80°C. Po usušení byl vzorek na 10 minut vložen do roztoku činidla 4, kde se ve vláknech vysráželo činidlo 3, pak byl vzorek odmačknut a usušen. Poté byl vzorek 3 minuty ustalován v roztoku ustalovače FOMAFIX a znovu odmačknut a sušen. Suchý vzorek byl po dobu 5 minut exponován lampou.

Vyhodnocení:

Po expozici zůstal vzorek bílý, což je důkaz, že použitý ustalovač skutečně odstranil neexponované činidlo 3 a při následném osvitu lampou se už na vzorku nenacházelo žádné činidlo 3, ze kterého by se mohlo vyredukovat stříbro.

Pro vytvoření jednoduchých vzorů na tkanině fotografickou technikou byl po tomto experimentu navržen následující postup:

- ✓ vysrážení světlocitlivé emulze ve vláknech
- ✓ expozice lampou
- ✓ ustálení
- ✓ vyvolání

3.6.4 Orientační pokus s celofánem

Experiment, ve kterém byl namísto bavlněné tkaniny použit celofán, sloužil ke zjištění, zda by se fotochemickým postupem dalo nanést stříbro i na fólii. U pokusů s celofánem byla opět použita „ideální koncentrace“ činidla 4 (relativní koncentrace 100) a činidla 1 (relativní koncentrace 100).

a) Srážení činidla 4 s činidlem 1

Postup:

Vzorek celofánu byl stejně jako tkanina 10 minut zpracováván v roztoku činidla 1 a odmačknut filtračním papírem. Pak byl vzorek na 10 minut vložen do roztoku činidla 4 a znovu odmačknut. Dále byl vzorek osvětčován lampou po dobu 5 minut. Do prostředí vzorku byla dána korunová mince.

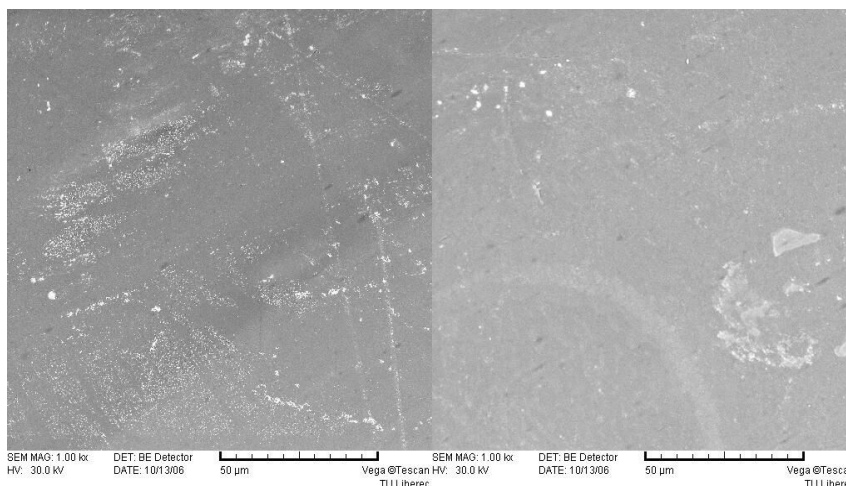
b) Srážení činidla 4 s činidlem 1 po 24 hod. odležení

Postup:

Stejný pokus jako za a) s tím rozdílem, že vzorek byl v roztoku činidla 1 po dobu 24 hodin.

Vyhodnocení:

Na obou vzorcích se podle předpokladu podařilo vyredukovat stříbro. Vzorek připravený podle postupu a) byl oproti očekávání tmavší než vzorek připravený podle postupu b).



Obr. 3.3: Celofán: vlevo - vzorek připravený způsobem a), vpravo – vzorek připravený způsobem b)

4. Výsledky a diskuse

4.1 Příprava standardních vzorků

4.1.1 Srážení činidla 4 s činidlem 1 ve vláknech

Pro přípravu standardních vzorků o rozměrech 7x14 cm byla použita „ideální relativní koncentrace“ roztoků činidla 4 a činidla 1 (100) (vzhledem k tomu, že činidla 1 a 2 poskytovala srovnatelné výsledky ztmavnutí tkaniny, bylo nadále používáno jen činidlo 1). Vzorky byly nejprve na 10 minut vloženy do roztoku činidla 1, odmačknuty a sušeny a pak vloženy na 10 minut do roztoku činidla 4, odmačknuty a sušeny. Ve vláknech se vysráželo činidlo 3.

4.1.2 Expozice lampou

Vzorky připravené předchozím postupem byly vloženy pod lampu a oproti dřívějším pokusům byly osvicovány po dobu 5 minut z obou stran.

4.1.3 Vyvolání

Exponované vzorky byly vloženy do roztoku vývojky FOMATOL LQN zředěné destilovanou vodou v poměru 1:7 a byly za neustálého pohybu vyvolávány po dobu 2 minut. Poté byly proprány pod tekoucí vodou, odmačknuty filtračním papírem a sušeny.

4.1.4 Ustálení

Vyvolané vzorky byly vloženy do roztoku ustalovače FOMAFIX zředěného destilovanou vodou v poměru 1:5 a byly ustalovány po dobu 3 minut. Pak byly vzorky vypírány a vyvářeny.

4.1.5 Vypírání a vyváření

Na závěr celého cyklu procesů (po ustálení) byly vzorky vypírány horkou tekoucí vodou. Po absolvování daného počtu cyklů byly ještě všechny vzorky vyvářeny 5 minut ve vroucí vodě v lázni 1:100.

4.2 Testování standardních vzorků

4.2.1 Připravené vzorky

Celkem byly připraveny čtyři standardní vzorky, které prošly různými počty fotografických cyklů popsanych v předchozích kapitolách. Jeden vzorek původní bílé bavlněné tkaniny byl zachován pro posouzení změny barevnosti.

Tab. č. 16 – Přehled standardních vzorků

Označení vzorků	Počet proběhlých fotografických cyklů
0	žádný
1	jeden
2	dva
3	tři
4	čtyři

Tab. č. 17 - Dílčí procesy jednoho fotografického cyklu

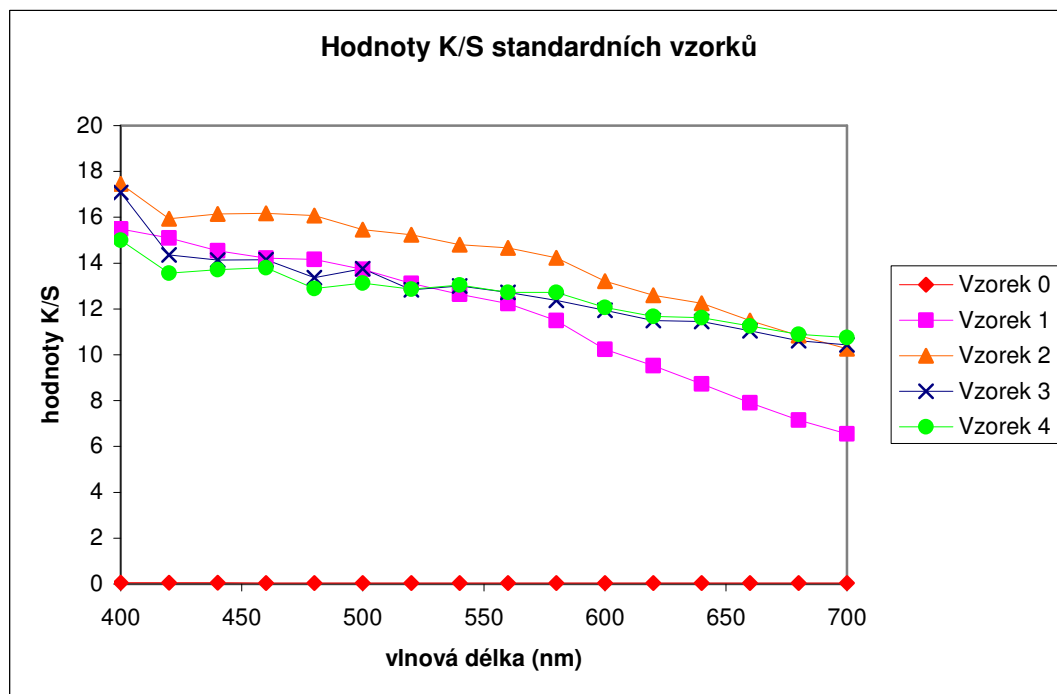
<i>Srážení činidla 4 s činidlem 1 ve vláknech</i>
<i>Expozice lampou</i>
<i>Vyvolání</i>
<i>Ustálení</i>
<i>Vypírání a vyvážení</i>

4.2.2 Hodnocení barevnosti

Na přístroji DATACOLOR byly měřeny remisní hodnoty vzorků 1 - 4 (viz tabulka č. 16) a pomocí Kubelka-Munkovy funkce převedeny na hodnoty $\Sigma K/S$, jejichž hodnota je přímo úměrná množství stříbra vyredukovaného ve vláknech tkaniny. Hodnoty $\Sigma K/S$ jsou uvedeny v tabulce č. 18.

Tab. č. 18 – Hodnoty $\Sigma K/S$ standardních vzorků

Vzorek	Počet cyklů	$\Sigma K/S$
0	žádný	0,7
1	jeden	186,8
2	dva	226,9
3	tři	204,8
4	čtyři	201,7



Obr. 4.1: Hodnoty K/S standardních vzorků

4.2.3 Elektrická vodivost

Elektrická vodivost byla u vzorků 1 – 4 (viz tabulka č. 16) měřena pomocí digitálního multimetru UT 70 C. Na testovanou textilii byly přiloženy elektrody multimetru. Vzdálenost elektrod byla 10 mm. Po deseti sekundách byla odečtena na digitálním displeji hodnota elektrického odporu v ohmech. Měřicí rozsah použitého multimetru byl od 0 do $8 \cdot 10^7 \Omega$. Standardní elektrický odpor bavlny je řádově $10^8 \Omega$. Nevíme, jestli v rozmezí 10^7 a 10^8 došlo ke změnám odporu textilie, ale změny elektrického odporu v tomto intervalu jsou technologicky nevýznamné.

4.2.4. Analytické zjištění množství stříbra ve vláknech metodou AES

Mineralizace

K mineralizaci bylo do rozkladné nádoby navažováno asi 0.1-0.15 g vzorků 1 - 4 (viz tabulka č. 16) textilie a k nim přidány 3 ml H_2SO_4 a ponecháno 2 hodiny stát bez uzavření a za občasného míchání. Poté byly přidány 4 ml HNO_3 a vzorek byl ponechán 30 minut bez uzavření a za občasného promíchání. Mineralizace proběhla podle programu zobrazeného v tabulce č. 19.

Tab. č. 19 – Teplotní program mikrovlnného rozkladu

Krok	1	2	3
t (°C)	160	220	100
čas (min)	5	5	1
doba udržování konstantní teploty (min)	10	20	1
výkon (%)	80	90	10

Po ukončení rozkladného procesu byly mineralizáty kvantitativně převedeny do 50 ml odměrných baněk a po vytemperování na laboratorní teplotu doplněny demineralizovanou vodou. Každý vzorek byl mineralizován opakovaně – dvakrát. Při každé sadě mineralizací byl stejným způsobem připraven také slepý pokus. Roztoky vzorků byly převedeny do polyethylenových lahví a uchovávány v chladu a temnu.

Vlastní analýza

Řada kalibračních standardů stříbra o koncentraci 0.1 – 0.5 – 1 – 5 – 10 – 50 mg/l byly připraveny ze komerčních standardních roztoků $1,000 \pm 0,002 \text{ g.l}^{-1}$ (Analytika Co. Ltd. Praha), byly stabilizovány přidavkem kyseliny dusičné (Lachema Brno, p.a.) v množství 1 ml kyseliny na výsledných 100 ml.

Analýza byla provedena na 2 spektrálních liniích stříbra 328.068 a 338.289 nm. Výsledky stanovení paralelních mineralizátů jednoho vzorku na obou čarách byly průměrovány. Pracovní podmínky stanovení jsou shrnuty v tabulce č. 20.

Tab. č. 20 – Pracovní podmínky stanovení množství stříbra v textiliích

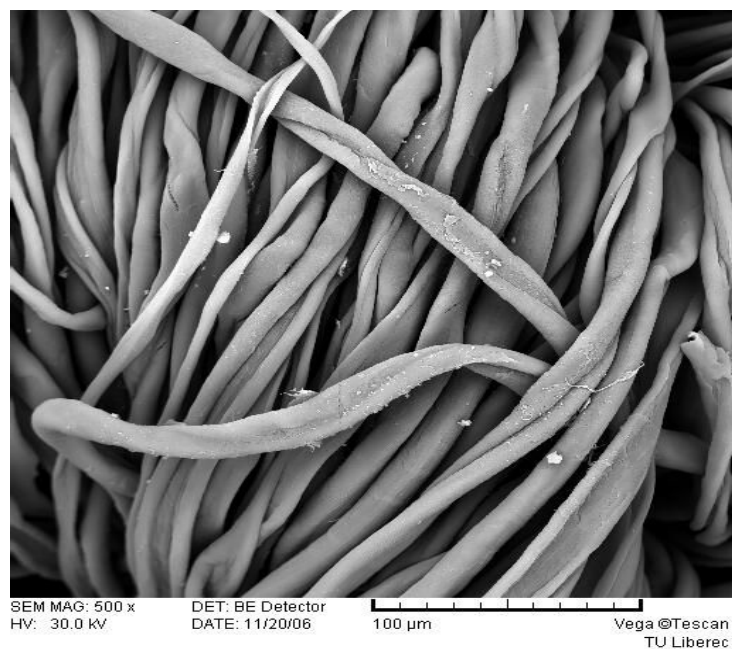
Parametr	Nastavená hodnota
Příkon do plazmatu	1100 W
Průtok zmlžovacího plynu	0,65 l.min ⁻¹
Průtok plazmového plynu	11 l.min ⁻¹
Průtok vnějšího plazmového plynu	0,6 l.min ⁻¹
Rychlost peristaltické pumpy	10 otáček.min ⁻¹
Zmlžovač	V-grooved

Výsledky analýzy:

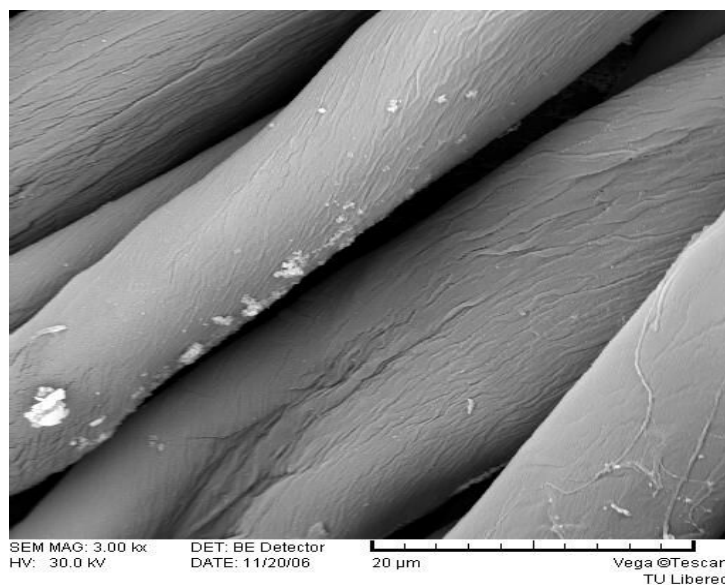
Kvantitativní analýzou metodou AES bylo zjištěna koncentrace stříbra v hmotnostních %.

4.2.5 Elektronová mikroskopie

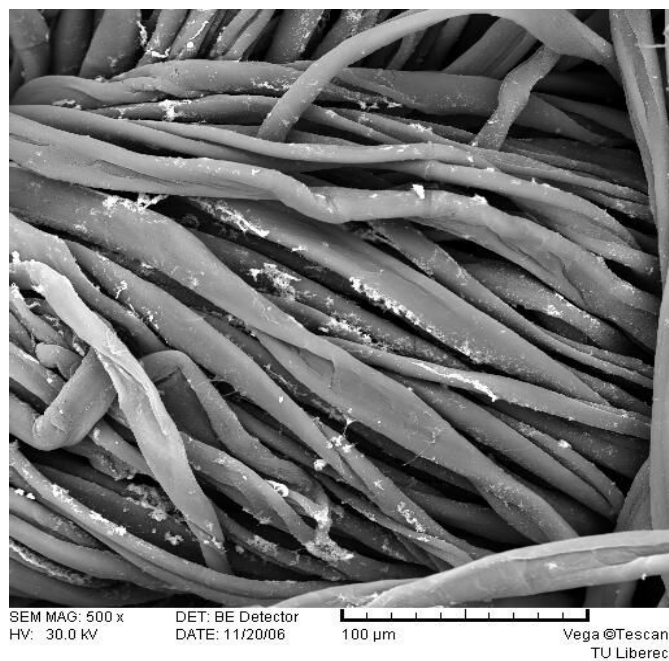
Vzorky 1 – 4 (viz tabulka č. 16) připravené standardním postupem byly mikroskopovány rastrovacím elektronovým mikroskopem.



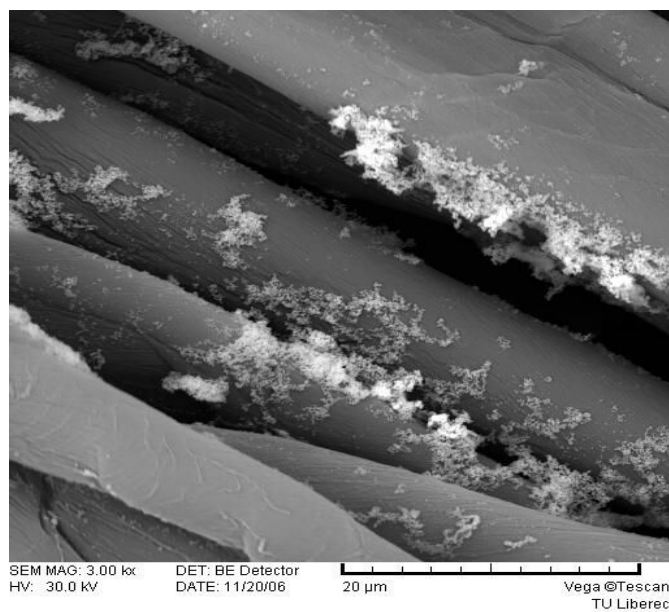
Obr. 4.2: Bavlněné vlákno po 1 cyklu fotografického procesu



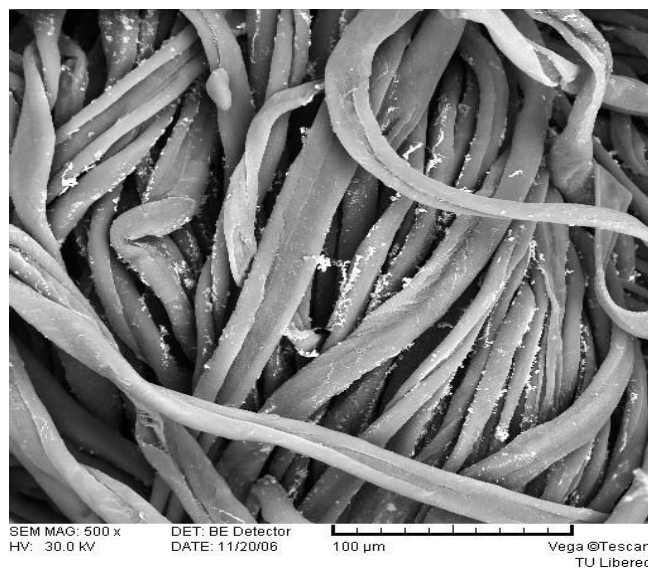
Obr. 4.3: Bavlněné vlákno po 1 cyklu fotografického procesu



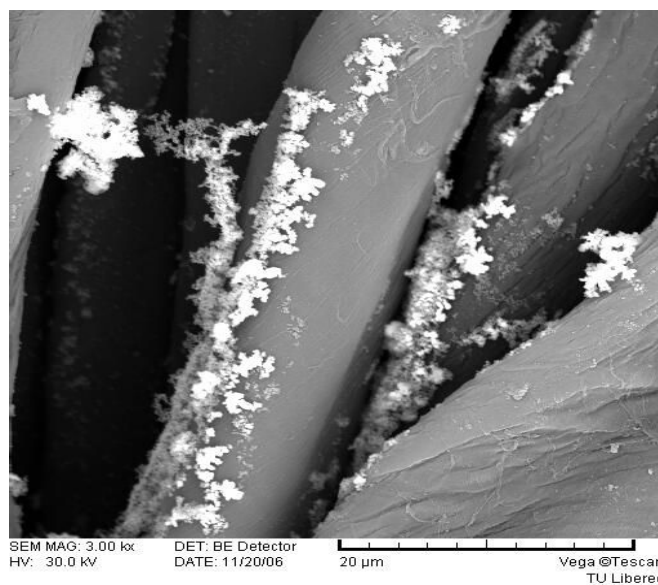
Obr. 4.4: Bavlněné vlákno po 2 cyklech fotografického procesu



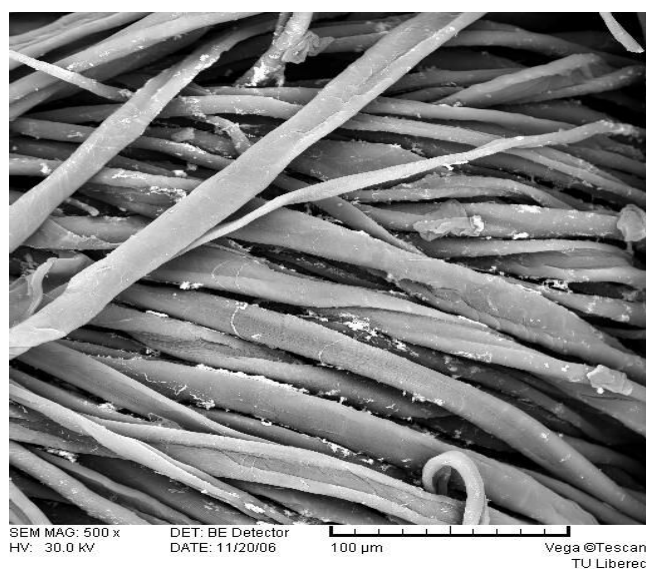
Obr. 4.5: Bavlněné vlákno po 2 cyklech fotografického procesu



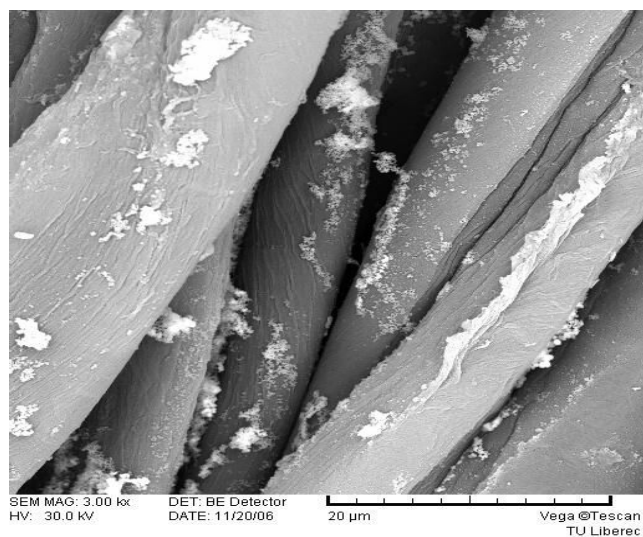
Obr. 4.6: Bavlněné vlákno po 3 cyklech fotografického procesu



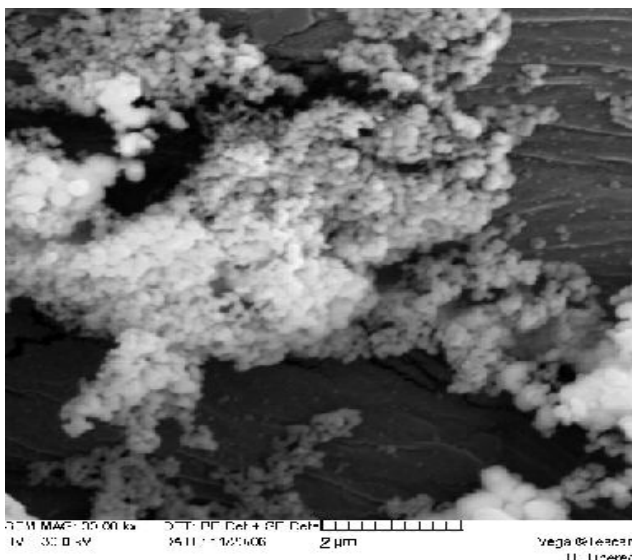
Obr. 4.7: Bavlněné vlákno po 3 cyklech fotografického procesu



Obr. 4.8: Bavlněné vlákno po 4 cyklech fotografického procesu



Obr. 4.9: Bavlněné vlákno po 4 cyklech fotografického procesu



Obr. 4.10: Maximálně zvětšené nanočástice stříbra na textilií

4.2.6 Baktericidnost

Baktericidní vlastnosti byly testovány u vzorků 1 – 4 (viz tabulka č. 16) připravených standardním postupem a také na jednom vzorku připraveném podle základního postupu uvedeném v kapitole 3.6.1.1.

Postup zkoušky:

Na standardní bakteriologickou půdu (krevní agar) se vyočkoval studovaný bakteriální kmen - *Pseudomonas aeruginosa*. Na vyočkovanou půdu byl položen vzorek testované tkaniny. Po 24 hodinách kultivace bakterií při teplotě 37°C byly výsledky makroskopicky (okem) hodnoceny.

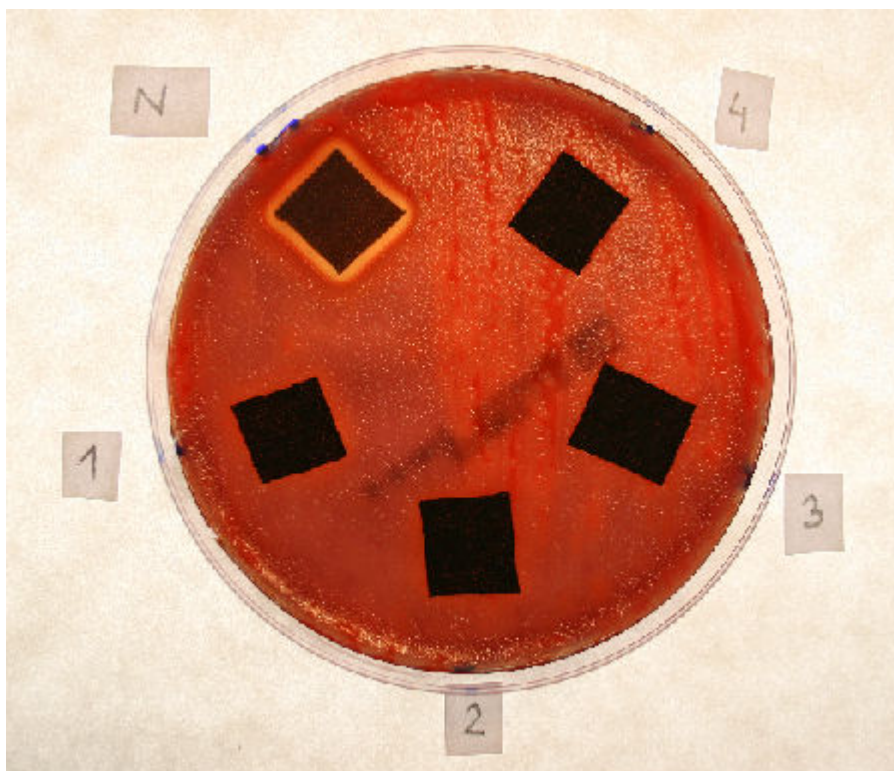
Hodnocena byla zejména velikost a charakter zábrany růstu bakterií kolem testovaného vzorku (tzv. halo efekt).

V další fázi byl textilní vzorek odstraněn sterilní pinzetou a stěry pod textilií byly vyočkovány na další bakteriologickou půdu (krevní agar). Po 24 hodinách kultivace byla opět hodnocena přítomnost nebo nepřítomnost bakteriálního růstu a intenzita bakteriálního růstu.

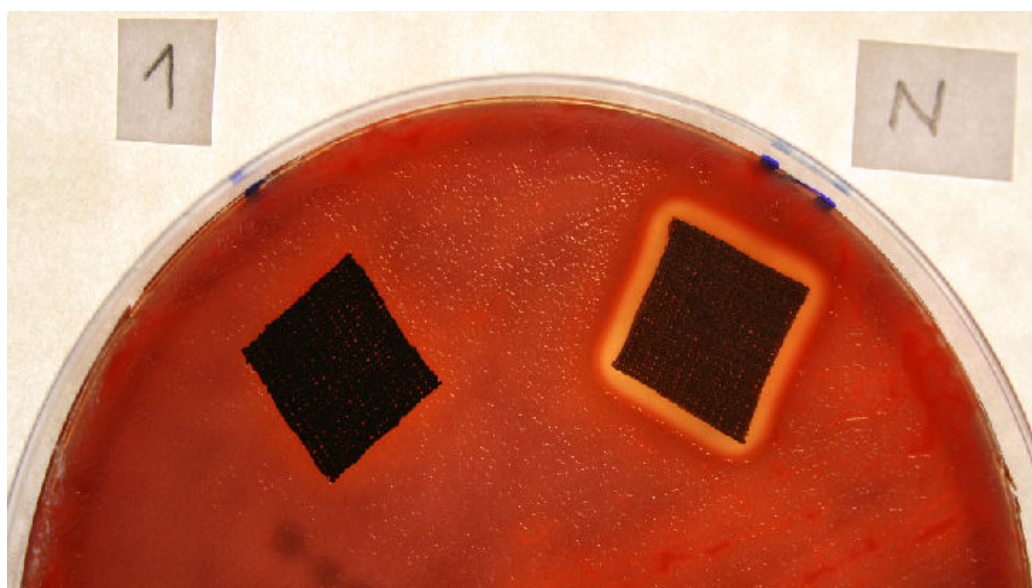
Vyhodnocení:

U čtyř vzorků bavlněné tkaniny připravených standardním postupem nebyl prokázán žádný inhibiční efekt.

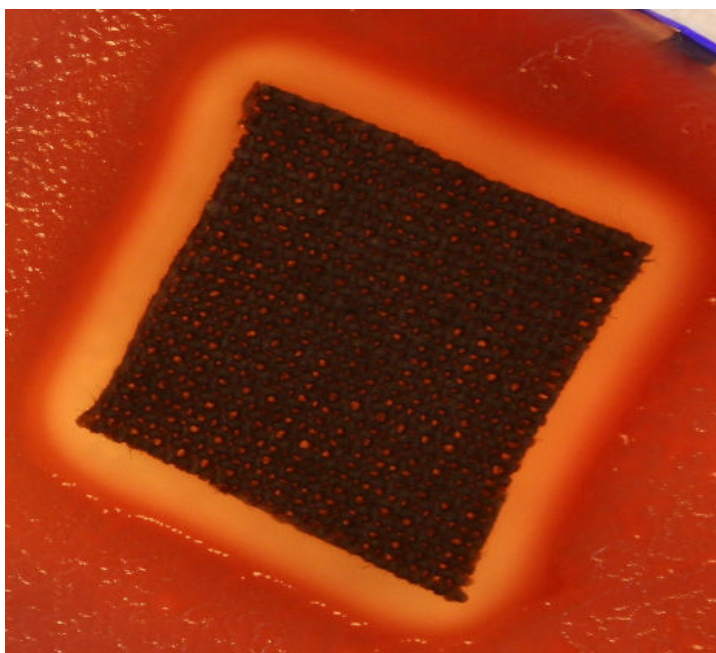
Vzorek připravený základním postupem zcela inhiboval růst testované bakterie. Tento efekt je nutné hodnotit jako efekt bakteriocidní (bakterie hubící).



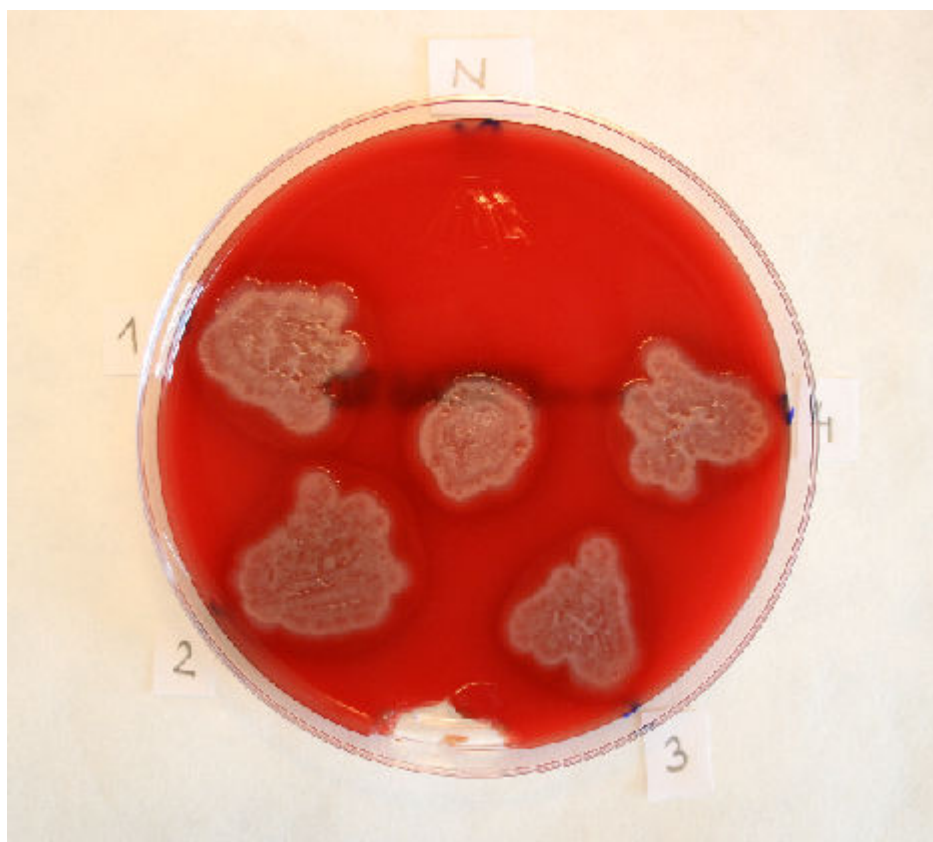
Obr. 4.11: Pět testovaných vzorků bavlněné tkaniny vložených na krevní agar s vyočkovanými bakteriemi *Pseudomonas aeruginosa*. Vzorek s označením N – vzorek nevyvolané a neustálené tkaniny, vzorky označené 1, 2, 3, 4 – vzorky připravené standardním postupem, číslo udává počet absolvovaných fotografických cyklů. U vzorku N nápadná středně velká halo zóna s výrazným antibakteriálním efektem.



Obr. 4.12: Porovnání vzorku N s jasně viditelnou halo zónou a vzorku 1 bez halo zóny.



Obr. 4.13: Detail halo zóny – zábrany růstu bakterií u vzorku N (nevyvolaného a neustáleného vzorku)



Obr. 4.14: Stěry zpod textilií vyočkované na nový krevní agar – u vzorků 1-4 je vidět masivní souvislý bakteriální růst, u vzorku N došlo ke 100%-ní inhibici bakteriálního růstu. Uprostřed stěr z kontrolního vzorku – opět masivní bakteriální růst.

4.2.7. Stálosti v otěru

U vzorků 1 – 4 (viz tabulka č. 16) byly posuzovány stálosti v mokřém a suchém otěru. Stálostní zkoušky byly provedeny podle ČSN EN ISO 105-X12 a výsledky hodnoceny podle šedé stupnice pro zapouštění od 5 do 1, přičemž 5 = nejlepší stálost a 1 = nejhorší stálost. Hodnocení bylo provedeno v koloristické skříni pod světlem D65.

Postup zkoušky:

Suchý otěr

Na palec otíracího zařízení se navlékla suchá otírací tkanina. Otíralo se na suchém zkušebním vzorku po lineární dráze 100 mm, za 10 s desetkrát sem a tam. Síla působící na palec byla 9 N, průměr palce byl 16 mm. Otírací tkanina byla nevybarvená bělená bavlna 50 mm x 50 mm, bez šlichty a úprav, odpovídající ISO 105-F09. /33/

Mokrý otěr

Zkouška v otěru byla provedena s novým suchým zkušebním vzorkem a s mokrou otírací tkaninou, obsahující 100% vlhkosti. Po zkoušce otěru se otírací tkanina usušila při teplotě místnosti. /34/

Vyhodnocení:

Vyhodnocení zkoušky je uvedeno v tabulce č. 21.

Tabulka č. 21 – Stálosti v suchém a mokřém otěru

Vzorek	Suchý otěr	Mokrý otěr
1	4-5	1-2
2	3-4	1-2
3	3	1-2
4	3	1-2

Pozorované stálosti v suchém otěru jsou relativně dobré, v náročnějším mokřém otěru již horší. Vzorek 1 je při této síle typu srovnatelný s klasickým vybarvením dosaženým pomocí organických barviv.

4.2.8 Stálosti v praní

Dále byly u vzorků 1 – 4 (viz tabulka č. 16) posuzovány stálosti v praní. Stálostní zkouška byla provedena podle ČSN EN ISO 105-C06 a změny odstínu zkušebních vzorků a zapuštění do doprovodných tkanin byly hodnoceny podle šedých stupnic pro zapouštění od 5 do 1, přičemž 5 = nejlepší stálost a 1 = nejhorší stálost. Hodnocení bylo provedeno v koloristické skříni pod světlem D65.

Postup zkoušky:

Roztok pracího prostředku byl připraven rozpuštěním 4 g pracího prostředku v 1 l vody. Zkušební vzorek byl vložen mezi dvě jednovláknenné doprovodné tkaniny (bavlna a viskóza) a sešil se na jedné krátké straně ve sdružený vzorek. Ten byl prán při teplotě 50°C po dobu 30 minut ve 150 ml lázni za přítomnosti 25 ocelových kuliček.

Vyhodnocení:

Vyhodnocení zkoušky je uvedeno v tabulce č. 22.

Tabulka č. 22 – Stálosti v praní

Vzorky	Stálosti v praní při 50°C		
	Změna odstínu zkušebního vzorku	Zapuštění do doprovodné bavlněné tkaniny	Zapuštění do doprovodné viskózové tkaniny
1	5	5	5
2	5	5	5
3	5	5	5
4	5	5	5

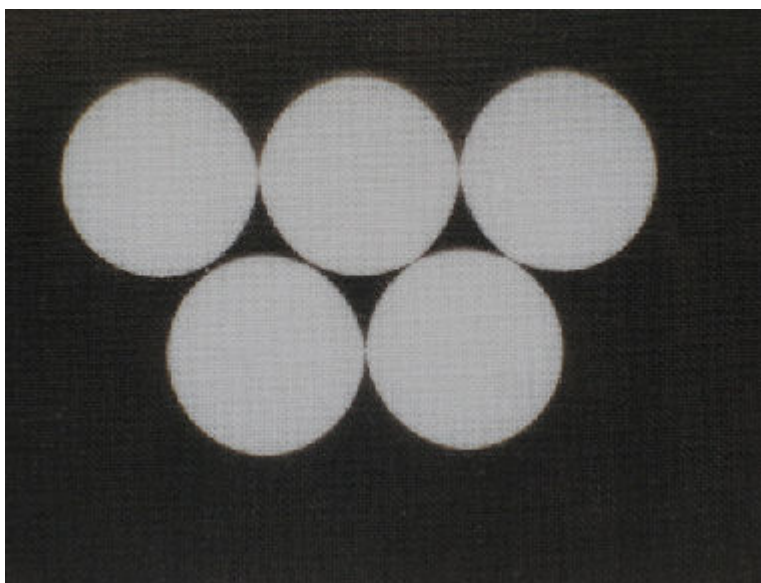
Stálosti v praní jsou u všech testovaných vzorků výborné. V sledované síle typu lepší než většina u většiny klasických barviv na bavlnu. Obdobných stálostí lze na bavlně dosáhnout pouze kypovými barvivy a případně reaktivními barvivy.

4.3 Vytvoření geometrického vzoru na textilií

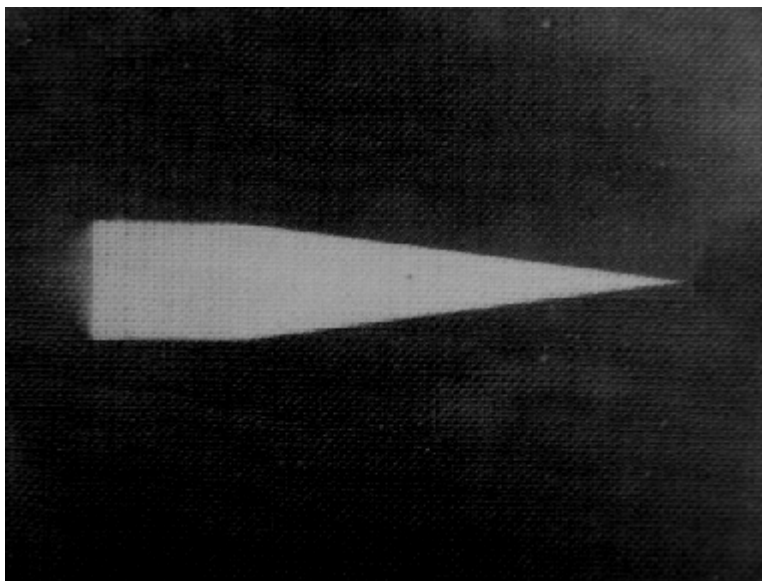
Postup:

Vzorek byl vložen na 10 minut do roztoku činidla 1 o relativní koncentraci 100, odmačknut a usušen a poté vložen na 10 minut do roztoku činidla 4 o relativní koncentraci 100, odmačknut a opět usušen. Pak byly na vzorek vloženy předměty, jejichž tvar měl být ofocen na tkaninu a vzorek byl 5 minut jednostranně exponován lampou. Exponovaný vzorek byl na 3 minuty vložen do roztoku ustalovače FOMAFIX, za účelem odstranění neexponovaného činidla 3. Pak byl vzorek 10 minut vyvoláván v roztoku vývojky FOMADON.

Celý proces probíhal při zhasnutém osvětlení, aby byl minimalizován vlivu nežádoucích paprsků světla, kterými by mohl být exponován vzorek i v místech původně neosvitnutých.



Obr. 4.15: Geometrický vzor na textilií



Obr. 4.16: Geometrický vzor na textili

5. Závěr

V této práci byly fotochemickým postupem vytvářeny nanočástice kovového stříbra v celulóзовém vlákne.

Na základě modifikovaného fotografického procesu byly laboratorně připraveny vzorky bavlněné tkaniny s různým obsahem stříbra. Na základě orientačních pokusů byl postup optimalizován za účelem dosažení maximální barevnosti, respektive obsahu stříbra ve vzorku.

Tento optimalizovaný postup byl aplikován na bavlněný vzorek cyklicky tak, aby byla dále zvýšena koncentrace kovového stříbra v textili. Touto metodou bylo dosaženo koncentrace v hmotnostních % stříbra. Tato hodnota byla stanovena pomocí AES.

Na takto upravených vzorcích bavlněné textilie byla sledována barevnost, elektrická vodivost, baktericidnost a stálost v otěru a v praní.

Na základě výsledků těchto testů lze vyvinutou technologii pravděpodobně využít jako kvalitní baktericidní úpravu textilií a případně i k barvení textilií na černý odstín s výbornými stálostmi v praní, který neobsahuje organická barviva. Tuto techniku lze také použít pro vytváření vzorů na textilie, čehož by bylo možné po určitých modifikacích procesu ve speciálních případech využít k náhradě klasické technologie textilního tisku. Předpokládané zvýšení elektrické vodivosti nebylo u upravené bavlny pozorováno.

6. Literatura

- /1/ http://www.chemie.gfxs.cz/index.php?pg=prvek_id=47
- /2/ <http://cs.wikipedia.org/wiki/St%C5%99%C3%ADbro>
- /3/ N. N. Greenwood, A Earnshaw – Chemie prvků, Informatorium Praha, 1993
- /4/ Kolektiv autorů: Matematické, fyzikální a chemické tabulky, SPN Praha, 1989
- /5/ Kvítek, L.: Nanotechnologie dneška – koloidní stříbro [on line] Dostupné na <http://fch.upol.cz/fcl/vyzkum/srozum/nanotechnologie.pdf>
- /6/ <http://nanohorizons.com>
- /7/ Jefferson, W.: Colloidal silver today, Healthy Living Publications, 2003
- /8/ Vodrážka, Z., Žďárský, J., Demnerová, K.: Biochemie a mikrobiologie (skripta pro VŠCHT) , SNTL Praha, 1985
- /9/ Jelínek, J., Zicháček, V. a kol.: Biologie pro gymnázia, Nakladatelství Olomouc Olomouc, 2000
- /10/ Göpfertová, D., Janovská, D., Šejda, J.: Mikrobiologie, imunologie a epidemiologie, Triton Praha, 1997
- /11/ <http://www.epedio.carrier.com/idc/groups/public/documents/marketing/811-10172.pdf>
- /12/ <http://www.biomed.cas.cz/mbul/gabrile/Repetitorium%20chemie%20V.pdf>
- /13/ Junge, K.W., Hübner, G.: Fotografická chemie, SNTL Praha, 1987
- /14/ Morvay, G. a kolektiv: Fotolexikon, Alfa Bratislava, 1988
- /15/ Tušl, J.: Fotografie – fotochemie a technologie, SPN Praha, 1984
- /16/ Šimková, M., Šimek, J.: Kvalifikační příručka fotografa a laboranta, Práce Praha, 1973
- /17/ Šimek, J.: Základy fotochemie, SPN Praha, 1983
- /18/ Křivánek, L.: Fotografická laboratorní technika, Orbis Praha, 1957
- /19/ Bouček, V.: Filmová technika I., Vydavatelství ČVUT Praha, 1972
- /20/ Skopec, R.: Fotografická praxe, Orbis Praha, 1953
- /21/ Horenstein, H.: A technical manual beyond basic photography, Little, Brown and Company Toronto, 1977
- /22/ Andrlík, K.: Škola fotografie, SNTL Praha, 1961
- /23/ Večeřa, Z. a kol.: Chemie pro všechny, SNTL Praha, 1990
- /24/ Šmok, J., Pecák, J., Tausk, P.: Barevná fotografie, SNTL Praha, 1978

- /25/ Machaňová, D.: Přednášky z předmětu Předúprava textilií, zimní semestr 2002 na FT TUL
- /26/ Militký, J.: Textilní vlákna – klasická a speciální, TUL, 2002
- /27/ Hladík, V. a kol.: Textilní vlákna, SNTL Praha, 1970
- /28/ Mertlíková, J.: Nanostrukturní materiály v textilu, TUL 2004
- /29/ Blažej, A., Šutá, Š.: Vlastnosti textilných vlákien, Alfa Bratislava, 1982
- /30/ Tomášek, Z.: Fotografické chemikálie, Merkur Praha, 1982
- /31/ Kulhánek, J.: Fotografický receptář, Merkur Praha, 1971
- /32/ Klaban, V.: Ilustrovaný mikrobiologický slovník, Galén Praha, 2005
- /33/ Vik, M.: Základy měření barevnosti a vzhledu – II. díl, TUL 1995
- /34/ ČSN EN ISO 105-X12: Textilie – Zkoušky stálobarevnosti – Část X12: Stálobarevnost v otěru, Český normalizační institut Praha, 1996
- /35/ ČSN EN ISO 105-C06: Textilie – Zkoušky stálobarevnosti – Část C06: Stálobarevnost v domácím a komerčním praní, Český normalizační institut Praha, 1998

